

Michael Reissinger

ZUR GEOCHEMIE DER GREINER SCHIEFER SERIE
IM BEREICH DES OBEREN SCHLEGEISGRUNDES
(ZILLERTALER ALPEN / TIROL)

1976

ZUR GEOCHEMIE DER GREINER SCHIEFER SERIE
IM BEREICH DES OBEREN SCHLEGEISGRUNDES
(ZILLERTALER ALPEN/TIROL)

INAUGURAL-DISSERTATION
ZUR
ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE
DER
HOHEN GEOWISSENSCHAFTLICHEN FAKULTÄT
DER
LUDWIG-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT
MÜNCHEN

VORGELEGT VON
MICHAEL REISSINGER
MÜNCHEN 1976



1. Berichterstatter Prof.Dr.D.D.Klemm
2. Berichterstatter Prof.Dr.K.Schmidt

Tag der mündlichen Prüfung: 10. August 1976

V o r w o r t

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen des Schwerpunktprogramms "Geodynamik des mediterranen Raumes", Teilprogramm Geotraverse I A, der Deutschen Forschungsgemeinschaft durchgeführt. Für die ehrenvolle Übertragung dieser Arbeit und seine stets hilfreiche Unterstützung danke ich meinem Lehrer Herrn Prof. Dr. D. D. Klemm sehr herzlich.

Für die Bereitstellung eines Arbeitsplatzes danke ich Herrn Prof. Dr. -Ing. A. Maucher und Herrn Prof. Dr. K. Schmidt.

Meinem Kollegen Dr. E. Prosser danke ich für die Überlassung seines Probenmaterials, welches die Grundlage für diese Arbeit bildete.

Für die kritische Durchsicht des Manuskripts und für wertvolle Hinweise bin ich Herrn Dr. B. Lammerer zu großen Dank verpflichtet.

Für stete Hilfe bei allen analytischen Problemen danke ich Herrn Dr. I. Fruth und Herrn Dr. K. Weber-Diefenbach.

Finanzielle Unterstützung erfuhr die vorliegende Arbeit durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft.

Zusammenfassung

Anhand eines Querprofils durch die Greiner-Schiefer-Serie im Bereich des oberen Schlegeisgrundes wird ein Überblick über die Geochemie, die Stoffentwicklung und das Ausgangsmaterial der dort auftretenden Serie gegeben.

Die einzelnen Gesteinstypen der Greiner Serie werden nach geochemischen Kriterien im Haupt- und Spurenelementismus gegliedert und definiert.

Die Ableitung des Ausgangsmaterials und der Vergleich mit typischen Magmatit- und Sedimentittrends ergab eine bunte Abfolge vorwiegend klastischer Sedimente (Grauwacken-Pelite), in die Basaltlagen und Tuffe eingeschaltet sind.

Das Überwiegen von Klastiten in der Sedimentfüllung der Greiner-Schiefer Serie, sowie die wiederholt auftretenden Metabasaltlagen, deuten auf einen Bildungsbereich hin, der starken tektonischen Bewegungen unterworfen war und der in einem kontinentnahen Bereich zu suchen ist.

Summary

On the basis of a cross section through the "Greiner Schiefer Serie" in the region of the "Oberer Schlegeisgrund (Zillertaler Alpen, Austria) a survey is given over the geochemistry, the element development and the source material of the series occurring there.

The particular types of rocks in the "Greiner Serie" are subdivided and defined according to geochemical criteria in main and trace chemistry.

The determination of the source material and the comparison with typical igneous and sedimentary trends showed a varying sequence of mainly clastic sediments (greywackes - argillites) with intercalations of basalt layers and tuffs.

The predominance of clastics in the sedimentary filling of the "Greiner Schiefer Serie" as well as the repeatedly occurring of metabasalt layers indicate a source environment, which was subject to strong tectonical movements and which has to be searched in a near continent-surrounding.

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

1. Einleitung.....	1
2. Arbeitsmethodik.....	4
2.1. Probenahme.....	4
2.2. Analysenmethodik.....	4
3. Zur Petrographie der Greiner Schiefer Serie im Bereich des oberen Schlegeisgrund.....	6
3.1. Hornblendit.....	6
3.2. Amphibolit.....	7
3.3. Hornblende-Garbenschiefer.....	8
3.3.1. Chlorit-Hornblendeschiefer.....	8
3.3.2. Hornblende-Plagioklasgneis.....	9
3.4. Hornblende-Biotitschiefer.....	9
3.5. "Knollen"-Gneise.....	10
3.5.1. Muskowit-Knollengneis.....	10
3.5.2. Epidot-Knollengneis.....	11
3.6. Zweiglimmergneis.....	11
3.7. Schiefer mit wechselnder Biotit-Muskowit- Vormacht.....	12
3.8. Granatführende Graphitschiefer.....	13
3.9. Zur Metamorphose der Greiner Schiefer Serie....	14
4. Ergebnisse der geochemischen Untersuchungen.....	16
4.1. Überblick.....	16
4.2. Chemismus der hornblendeführenden Gesteine.....	19
4.2.1. Hornblendit.....	19
4.2.2. Amphibolit.....	21
4.2.3. Hornblende-Garbenschiefer.....	22
4.2.4. Hornblende-Biotitschiefer.....	24
4.2.5. Epidot-Knollengneis.....	26
4.3. Chemismus der hornblendefreien Gesteine.....	27
4.3.1. Zweiglimmergneis.....	27
4.3.2. Glimmerschiefer mit wechselnder Muskowit- Biotit-Vormacht.....	28
4.3.3. Granatführende Graphitschiefer.....	30
4.3.4. Zusammenfassung.....	33
4.4. Das Ausgangsmaterial der Greiner Schiefer Serie.....	35

	Seite
4.4.1. Hornblendeführende Gesteine.....	36
4.4.2. Hornblendefreie Gesteine.....	43
4.4.2.1. Gesteine mit Na_2O -Vormacht.....	46
4.4.2.2. Gesteine mit K_2O -Vormacht.....	49
5. Schlußfolgerungen.....	52
Literaturverzeichnis.....	55
Anhang: Analysentabellen.....	60

1. Einleitung

Das Arbeitsgebiet liegt am westlichen Ende des Tauernfensters. Dort spaltet sich der Zentralgneis in die Augen- und Flasergneise des "Tuxer Kerns" und in die granitisch-tonalitischen Gesteine des "Zillertaler Kerns". Zwischen diesen beiden Zentralgneis-ästen liegt die Serie der Greiner Schiefer. Sie reicht in ihrer Gesamterstreckung vom hinteren Floitental im Norden bis in das hintere Pfitschtal auf der Südseite des Zillertaler Hauptkamms (Abb. 1).

In der Greiner Schiefer Serie findet sich eine bunte Abfolge von Gneisen, Glimmerschiefern, Amphiboliten und Hornblende-Garbenschiefen, in die einzelne Serpentinittstöcke (z.B. das Ochsen-Rotkopf Massiv im oberen Zemmgrund und das "Totenkönl" im oberen Schlegeisgrund) eingelagert sind. Kennzeichnend für die Greiner Schiefer ist der enge räumliche Stoffwechsel, der sowohl horizontal als auch vertikal verläuft. Ihre jüngste metamorphe Prägung haben sie - zusammen mit dem Zentralgneis - durch die alpidische Metamorphose erhalten ("Tauernkristallisation" nach SANDER, 1911). Dabei wurden die Bedingungen der obersten Grünschieferfazies bzw. der untersten Amphibolitfazies erreicht. Das Alter der tauernkristallinen Mineralparagenesen ist von SATIR (1975) mit Rb-Sr- und K-Ar-Hellglimmeraltern auf 35-25 Mio. Jahren datiert. Jüngere Alterswerte (LAMBERT, 1964 und BESANG et al., 1968) zwischen 18 und 12 Mio. Jahren werden als Abkühlalter interpretiert (SATIR, 1975).

Nach den ersten Arbeiten von TERMIER (1903) und SANDER (1911 und 1913a) wurde die erste detaillierte Bearbeitung der Greiner Schiefer Serie von CHRISTA (1931 u. 1934) durchgeführt. Der italienische Teil wurde von BAGGIO & DE VECCHI (1969) bearbeitet. Sie stellen die Greiner Schiefer in das Perm und Karbon, während FRASL & FRANK (1966) sie als ein Äquivalent zur Habachserie (?) betrachten und damit in das Altpaläozoikum einordnen. Jungpaläozoisches Alter wird auch von LAMMERER et al. (1976) vermutet, eine exakte Einordnung ist jedoch durch ausschließlich tektonische Kontakte zu den angrenzenden Zentralgneisästen erschwert.

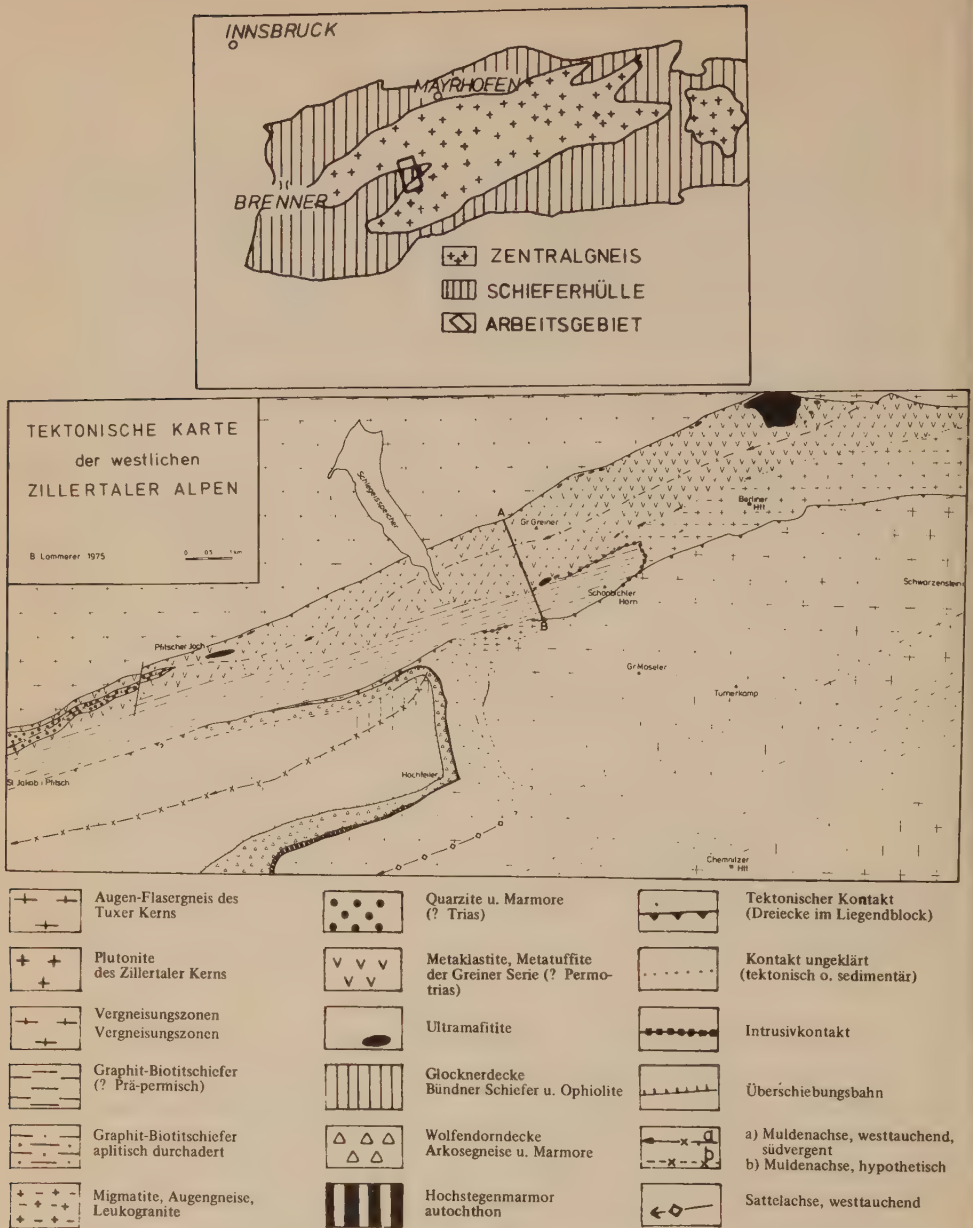


Abb.1: Geologischer Überblick und tektonische Karte (LAMMERER et al., 1976) des Arbeitsgebietes mit Lage der Profile (dargestellt durch das Gesamtprofil A-B).

In den letzten Jahren erfuhr die Greiner Schiefer Serie eine intensive Bearbeitung. Es sind hier zu nennen die Arbeiten von LAMMERER (1969), HAYDN (1971), SCHMIDT v. BRAUN (1971), PROSSER (1972), v. GIZYCKI (1973), HILLER (1973), v. SCHWARZENBERG (1973), GHADERI (1975) und SCHNEIDER (1976). In diesen Arbeiten ging es hauptsächlich um die Lösung geologischer, tektonischer und petro-genetischer Fragestellungen. Daneben wurden jedoch auch geoche-mische Untersuchungen in der Greiner Serie durchgeführt. LAMMERER (1969 u. 1972) bearbeitete die Serpentinite des Ochsner-Rotkopf Massivs im oberen Zemmgrund. Einen geochemischen Vergleich zwischen Zweiglimmergneisen und Amphiboliten im Gebiet der Schwarzenstein-alpe (oberer Zemmgrund) führte HAYDN (1971) durch. v. SCHWARZEN-BERG (1973) untersuchte die granatführenden Graphitschiefer (sog. "Furtschaglschiefer") des Pfitscher Jochs. Eine eingehende Studie erfuhren die Amphibolite der Greiner Serie durch WEBER-DIEFENBACH (1976).

Diese genannten Arbeiten sind überwiegend Detailuntersuchungen. Es stellte sich damit als Problem für die folgende Untersuchung, durch eine umfassende Bearbeitung der Greiner Schiefer Serie zu-sätzlich neue Informationen zu gewinnen und die bisher durchge-führten geologischen, petrographischen, tektonischen und geo-chemischen Untersuchungen ergänzend abzurunden.

Zielsetzung der vorliegenden Arbeit war die Klärung folgender Fragenkomplexe:

- Die Erfassung des Stoffbestandes der Greiner Schiefer Serie durch die Bestimmung von Haupt-, Neben- und Spurenelementen.
- Die Erarbeitung charakteristischer geochemischer Merkmale und eine Gliederung der einzelnen Serien nach geochemischen Ge-sichtspunkten.
- Die Ableitung des Ausgangsmaterials aus den gewonnen Daten und die Festlegung einer praemetamorphen Abfolge.
- Die Zusammenfassung der Ergebnisse aus diesen genannten Ziel-vorstellungen sollte einen Überblick über die stoffliche Ent-wicklung der Greiner Schiefer Serie geben und in den geologischen und geodynamischen Rahmen des Arbeitsgebietes eingeordnet werden.

Als Untersuchungsgebiet wurde der Bereich des oberen Schlegeisgrundes gewählt. Für die gestellte Aufgabe boten sich hier besonders günstige Voraussetzungen, da es durch die Bearbeitung von PROSSER (1972) besonders gründlich untersucht war. Die Aufschlußmöglichkeiten waren günstig. Weiterhin liegt der obere Schlegeisgrund in einem zentralen Teil der Greiner Serie, so daß sich hier gewonnene Ergebnisse auch auf andere Bereiche übertragen lassen.

2. Arbeitsmethodik

2.1. Probenahme

Um einen repräsentativen Probenquerschnitt zu erhalten, wurde die Probenahme entlang von Profilen gewählt. Es wurden insgesamt drei Profile beprobt, die sich zu einem Gesamtprofil ergänzen (Abb. 1). Die Beprobung wurde von PROSSER (1972) durchgeführt, der mir das Material freundlicherweise überließ. Ihm sei an dieser Stelle herzlich dafür gedankt.

Profil "C" reicht von der nördlichen Grenze der Greiner Serie im Scheibenkar bis zum Beginn des Reichbergkars und umfaßt die dort vorherrschenden Amphibolite, Hornblendite und Hornblende-Garbenschiefer (ca. 700 m). Profil "A" beinhaltet die Gneise, Glimmerschiefer, Amphibolite und Hornblende-Garbenschiefer des Reichbergkars (ca. 720 m). Mit Profil "F" schließlich wurden die mächtigen Graphitschiefer und die südlich angrenzenden Amphibolite beprobt (ca. 900 m). Mit diesen Profilen war die Greiner-Schiefer-Serie in ihrer gesamten Mächtigkeit erfaßt. Es wurden ca. 150 Proben genommen, die zum größten Teil petrographisch untersucht wurden.

2.2. Analysenmethodik

Für die geochemischen Analysen kamen zwei Verfahren zur Anwendung

- Mit der Röntgen-Fluoreszenz-Analyse (RFA) wurden die Elemente Si, Al, Ti, Fe, Mn, Mg, Ca, K, Rb, Sr und Zr bestimmt.

- Mit der Atom-Absorptions-Analyse (AAS) wurden die Spurenelemente Cr, Ni, Cu und Zn gemessen. Natrium, das mit der zur Verfügung stehenden RFA-Anlage nicht nachweisbar war, wurde auf emissions-spektroskopischen Wege ermittelt.

Die Proben wurden in einem Backenbrecher zerkleinert, geviertelt und davon 50 gr in einer Scheibenschwingmühle mit Widia-Einsatz 2 Minuten gemahlen. Der Glühverlust wurde durch einstündiges Glühen bei 900°C bestimmt.

Für die Vorbereitung zur RFA-Analyse wurde ein Verfahren angewandt wie es von LEAKE et al. (1969) beschrieben wurde. Danach wird das feingemahlene Gesteinspulver zu Tabletten gepreßt, wobei als Bindemittel Phenol-Formaldehyd (ein Kunstharz) verwendet wird. Die Tabletten werden auf folgende Weise hergestellt: 6 g der geglühten Probensubstanz werden mit 1 g Phenol-Formaldehyd homogen vermischt und in einer hydraulischen Presse unter einem Druck von 10 t zu einer Tablette gepreßt. Um das Kunstharz auszuhärten, müssen die Tabletten erhitzt werden. Dies geschieht durch stufenweises Erwärmen auf $100-160^{\circ}\text{C}$. Die von LEAKE angegebene Temperatur von 110°C erwies sich als zu niedrig um eine harte Oberfläche zu erzielen.

Auf diese Weise lassen sich Tabletten von großer Härte und glatter Oberfläche herstellen. Diese Methode bietet zugleich den Vorteil, daß Ober- und Unterseite der Tablette gleichermaßen analysiert werden können. Durch die geringe Verdünnung wird das Peak-Untergrundverhältnis nur gering vermindert, so daß leichte Elemente und Spurenelemente ohne Schwierigkeiten analysierbar sind. Der Intensitätsverlust für Si, Al und Mg beträgt nach LEAKE 15%, für die Elemente K, Ti und Ca 5%.

Für die Analysen stand ein Phillips-Vakuumspektrograph PW 1540, ein Generator Müller-Mikro 111 (max. 50 kV/20 A), sowie die Meßeinheiten PW 1352, 1353 und 1355 zur Verfügung. Die Elemente Si, Al, Ti, Mg, K und Ca wurden mit einer Cr-Röhre und einem Gipskristall gemessen, die Elemente Fe, Mn, Rb, Sr und Zr mit einer W-Röhre und einem LiF-Kristall. Die Elementkonzentrationen in den Proben wurden durch Eichkurven ermittelt. Da Probenmaterial von sehr unterschiedlicher Zusammensetzung vorlag, war für die

exakte Festlegung der Eichkurven eine große Anzahl von Standardproben Bedingung. Insgesamt wurden 21 Internationale- und 6 eigene Standards verwendet. Sie wurden nach dem oben beschriebenen Verfahren zur Analyse vorbereitet. Es wurde immer gegen einen äußeren Standard gemessen in der Reihenfolge Standard-Probe-Probe-Standard.

Für die Bestimmung der Elemente Cr, Ni, Cu, Zn und Na mußte die Probensubstanz in Lösung gebracht werden. Dies geschah mit einem HF-HClO_4 -Aufschluß. Es stand ein Einstrahl-Gerät vom Typ EEL, ATOMIC zur Verfügung. Als Meßtechnik kam ausschließlich die Additionsmethode zur Anwendung.

Ein tabellarisches Verzeichnis der Analysenergebnisse findet sich im Anhang. Fe ist als Gesamteisen angegeben. Dies gilt auch für die in einigen Tabellen verwendeten Vergleichsanalysen aus der Literatur.

3. Zur Petrographie der Greiner-Schiefer-Serie im Bereich des oberen Schlegeisgrund

Im folgenden soll eine kurze Charakteristik der bearbeiteten Gesteinsserien gegeben werden. Die bei jedem Gestein angegebene modale Zusammensetzung wurde unter Verwendung von Modalanalysen nach PROSSER (1972) zusammengestellt.

3.1. Hornblendit

Mineralbestand: Hornblende 77-94%, Plagioklas (An_{30-37}) 0,7-2,3%, Quarz 0-4%, Chlorit 0-9%, Epidot 0-6,3%, Karbonat 0-3,3%, Titanit, Biotit, Erz.

Die typische Mineralparagenese in den Hornblenditen ist:
Hornblende + Plagioklas + Epidot + Quarz

Als Einschaltungen in den Amphiboliten treten die Hornblendite im nördlichen Teil des Arbeitsgebietes, an der Grenze zum Tuxer Gneis auf. Sie sind nahezu ausschließlich aus Hornblende, untergeordnet auch aus Plagioklas, Epidot und Quarz zusammengesetzt. PROSSER (1972) konnte eine grobkörnige und eine feinkörnige Varietät auskartieren. Das Gefüge ist meist massig und regellos. Ihr Vorkommen ist nicht allein auf den Verband mit Amphiboliten beschränkt. Dies zeigen lagige Einschaltungen hornblenditischer

Zusammensetzung in Hornblende-Garbenschiefen der Schwarzensteinalpe (HAYDN, 1971). Der von CHRISTA (1934) beschriebene reliktsche Pyroxen weist auf die magmatische Natur der Hornblendite hin.

Die stengeligen oder kurz gedrunenen Hornblendn zeigen häufig idiomorphe Korngestalt. In den grobkörnigen Varietäten treten teilweise auch garbige Formen auf. Stellenweise sind zwei Generationen zu beobachten. Eine Durchsetzung mit Quarz, Epidot, Karbonat und Plagioklas ist die Regel. Frischer Plagioklas (An_{30-37}) füllt zusammen mit Quarz, teilweise auch Karbonat, die Zwickel zwischen den Hornblendn.

3.2. Amphibolit

Mineralbestand: Hornblende 40,6-49%, Plagioklas (An_{28-30}) 20-32%, Quarz 14-19%, Chlorit 0,3%, Biotit 1-8,8%, Epidot 0-6%, Titanit, Zirkon, Karbonat, Hellglimmer

Die typische Mineralparagenese in den Amphiboliten ist:
Epidot + Plagioklas (Olg) + Hornblende

Die Amphibolite treten hauptsächlich als lagige, langaushaltende, aber auch oft ausdünnende Körper (WEBER-DIEFENBACH, 1976) im nördlichen Teil der Greiner Serie auf, daneben aber auch als geringmächtige Einschaltungen in den Gneisen und Schiefen des Reischbergkars. Die südliche Begrenzung bildet der sog. südliche Amphibolit, in dem Einschaltungen von Kalksilikatfels (PROSSER, 1972) zu finden sind. BAGGIO & DE VECCHI (1969) deuten diese Amphibolite daher als Paraamphibolite.

Hornblende und Plagioklas bilden u.d.M. ein grobkörniges Gefüge. Hornblende ist feinkörnig und idiomorph. Als zweite, jüngere Generation tritt eine dünnstengelige Variation auf, auf die senkrecht durchsetzt. Biotit ist im südlichen Amphibolit nur als akzessorische Beimengung zu finden, in den Einschaltungen der Schiefer und Gneise dagegen meist als großtafeliger Quersbiotit. Chlorit stellt ein sekundäres Umwandlungsprodukt der Hornblendn und Biotite dar.

3.3. Hornblende-Garbenschiefer

Die im oberen Schlegeisgrund auftretenden Hornblende-Garbenschiefer lassen sich in Chlorit-Hornblendeschiefer und Hornblende-Plagioklasgneise unterteilen. Beiden ist die garbige Ausbildung der Hornblenden ein gemeinsames Kennzeichen. Diese Sprossung der Hornblenden ist in den Gesteinen Der Greiner-Schiefer-Serie eine häufig zu beobachtende Erscheinung, die auch in den Gneisen und Schiefen teilweise zu finden ist. Die oben genannten Gesteinstypen werden von anderen, ebenfalls Hornblendegarben führenden Gesteinen hauptsächlich aufgrund ihrer typischen Matrix unterschieden.

3.3.1. Chlorit-Hornblendeschiefer

Mineralbestand: Hornblende 33,3-67,7%, Plagioklas akz. -12,5%, Quarz 1-18%, Chlorit 21-30,8%, Karbonat 0-8%, Biotit 0-2,3%, Epidot, Granat, Paragonit, Erz

Die vorherrschende Mineralparagenese in den Hornblende-Chlorit-schiefern ist: Hornblende + Paragonit + Epidot + Plagioklas $\pm$ Quarz

Sie sind durch eine feinkörnige Matrix aus Chlorit, Hellglimmer, Quarz und Plagioklas gekennzeichnet. U.d.M. sind ebenfalls, wie bei den Hornblenditen, zwei Hornblendegenerationen zu beobachten. Eine Durchsetzung mit Quarz, Epidot und Karbonat ist häufig.

Die Hornblende-Chloritschiefer sind durch das Auftreten von Paragonit und Margarit von Bedeutung. Nach ACKERMANN & MORTEANI (1973) sind diese beiden Hellglimmer der frühesten Phase der Tauernkristallisation zuzurechnen. In den vorliegenden Proben konnte Paragonit nur in einer Probe (A3) festgestellt werden. Schon am Handstück lassen sich häufig die rosettenförmig gesprossenen, silbrig-weißen Paragonite von Muskowit unterscheiden. U.d.M. durchsetzen sie in langen, spießigen Aggregaten das Gefüge. Die teilweise Verdrängung durch Hornblende weist sie als ältere Bildung aus. Meist sind sie von einem Saum einer extrem feinkörnigen, und hochlichtbrechenden Masse umgeben, die nicht zu identifizieren war. Dies steht im Einklang mit den Beobachtungen von ACKERMANN & MORTEANI (1973). Von PURTSCHIELIER, HOERNES & BROWN (1972) wurde dieses feinkörnige Umwandlungsprodukt mit der

Mikrosonde als ein Alumosilikat (Disthen?) identifiziert.

Plagioklas zeigt inversen Zonarbau (PROSSER, 1972). Als sekundäre Neubildungen sind Chlorit, Karbonat und Epidot zu nennen. Chlorit stellt eine feingewellte Grundmasse dar, die die Hornblenden umfließt. Häufige Gemengteile sind auch cm-große Granatdioblatten.

3.3.2. Hornblende-Plagioklasgneis

Mineralbestand: Hornblende 28-56%, Plagioklas (An_{20-40}) 20-28%, Quarz 17-35%, Biotit 0-9%, Chlorit 0-17%, Epidot, Muskowit, Karbonat, Zirkon, Erz

Die typische Mineralparagenese ist: Hornblende + Plagioklas + Epidot + Biotit $\pm$ Almandin.

Diese Garbenschiefer stellen den sauren und auch häufigsten Typ dar. Ihre feinkörnige Matrix setzt sich vorwiegend aus Quarz und Plagioklas zusammen, in der die Hornblenden zusammen mit spärlichem Glimmer eingelagert sind. Die Ausbildung der Hornblendegarben ist sehr unterschiedlich. Neben kurzprismatischen Garben tritt auch ein nadeliger Habitus auf.

Im Dünnschliff zeigt sich eine feinkörnige, granoblastische Matrix aus Quarz und Plagioklas. Die Mikrosonden-Analyse der Hornblenden (PROSSER) ergab eine tschermakitische Zusammensetzung. Die pseudomorphe Umwandlung der Hornblenden nach Biotit ist häufig zu beobachten. Sonst tritt Biotit ausschließlich als Querbiotit auf.

3.4. Hornblende-Biotitschiefer

Mineralbestand: Hornblende 0-44%, Biotit 27,4-50,4%, Plagioklas (An_{22-30}) 10,4-30,3%, Quarz 14-24,6%, Chlorit, Epidot, Titanit, Karbonat, Erz.

Die Mineralparagenesen sind: a) Plagioklas + Hornblende + Quarz
b) Plagioklas + Biotit + Quarz

Für die Hornblende-Biotitschiefer ist eine lagige Wechselfolge von glimmerführenden und Hornblende- und Biotit-führenden Lagen

kennzeichnend. Darin liegt auch ihre Deutung als "Metatuffite" (PROSSER, 1972) begründet. In den hornblendeführenden Lagen überwiegt ein fein-mittelkörniges, granoblastisches Gefüge aus Quarz und Plagioklas, in das schuppige Biotite eingelagert sind. Eine beginnende Umwandlung des Biotits nach Chlorit ist vorherrschend. In den dunklen, basischen Lagen überwiegt Hornblende und Plagioklas.

3.5. "Knollen"-Gneise

Im Gebiet des oberen Schlegeisgrund treten zwei Typen von Knollengneisen auf: Muskowit-Knollengneise und Epidot-Knollengneise. Beide Gesteinstypen führen knollenartige Gesteins(?)-einschlüsse, die gerundet und in $\bar{s}$ ausgelängt sind und bis auf höhere Quarz- und Feldspat- bzw. höhere Epidotgehalte den gleichen Mineralbestand wie das umgebende Gestein aufwiesen.

Der erste Typ dieser Knollengneise wird von BAGGIO & DE VECCHI (1969), MORTEANI (1971) und v. SCHWARZENBERG (1973) als Konglomeratgneis gedeutet. PROSSER (1972) hält für den Epidot-Knollengneis unterhalb des Furtschagl Hauses eine Bildung aus zer-scherten, boudinierten, quarz-feldspatreichen Gängen für möglich. Diese Ansicht wird auch von LAMMERER (frdl. mdl. Mitt., 1976) geteilt, der jedoch in diesem Gestein ein stark deformiertes Äquivalent der Mikroklinporphyroblasten-Gneise der Migmatitzzone vermutet. In diesen Deutungsversuchen kommt die räumlich sehr unterschiedliche Ausbildung der Knollengneise zum Ausdruck. So beschreibt v. SCHWARZENBERG aus dem Gebiet des Pfitscher Jochs kantige, eckige Einschlüsse in den Knollengneisen, welche eine Interpretation als ehemalige grobklastische Sedimente rechtfertigen.

3.5.1. Muskowit-Knollengneis

Mineralbestand: Plagioklas (An_{23-30}) 15-30%, Quarz 31-40%, Biotit 7,6-10%, Muskowit 20-25%, Kalifeldspat 5-6,3%.

Kennzeichnende Mineralparagenesen sind: a) Plagioklas + Biotit + Muskowit oder b) Mikroklin + Muskowit + Biotit

Er tritt an der nördlichen Umrandung des Reischbergkars in zwei geringmächtigen Lagen auf und ist seinem Mineralbestand nach ein Kalifeldspat (Mikroklin)-Muskowitgneis. Im Schliff sind Feldspatnester von unterschiedlicher Größe zu erkennen, die von einer feinkörnigen Muskowit/Serizitmasse umflossen werden. Die An-Gehalte der Plagioklase liegen zwischen 23 und 30. Serizitisierung der Kalifeldspäte ist häufig zu beobachten. Nach Westen geht diese Serie in mächtige (bis >100 m) Konglomeratgneise über.

3.5.2. Epidot-Knollengneis

Mineralbestand: Plagioklas 5-10%, Quarz 20-33%, Kalifeldspat 1-3%, Epidot 19-32%, Hornblende 0-23%, Biotit 9-35%, Chlorit, Muskowit, Serizit, Erz.

Die Mineralparagenese ist: a) Hornblende + Epidot + Biotit + Plagioklas oder b) Epidot + Biotit + Plagioklas.

Der Epidot-Knollengneis bildet eine ca. 200 m mächtige Serie, die zwischen den granatführenden Graphitschiefern und dem südlichen Amphibolit eingeschaltet ist. In der gleichkörnigen Grundmasse aus Quarz und Plagioklas sind xenomorphe, teilweise poikilitische Kalifeldspäte und saure Plagioklase (Albite) eingeregelt. Dieses Mineralgefüge wird von Epidot gleichmäßig durchsetzt, der auch in größeren Kornhaufen auftreten kann. Er stellt die jüngste Mineralphase in diesem Gesteinstyp dar. Die teilweise vorhandene Hornblende zeigt nahezu immer eine beginnende Umwandlung nach Epidot.

3.6. Zweiglimmergneis

Mineralbestand: Plagioklas (An₂₀₋₃₀) 17-30%, Kalifeldspat 1,5-5%, Biotit 10-18,4%, Muskowit 3-23%, Epidot 1-3,6%, Chlorit, Granat, Apatit, Erz.

Mineralparagenese ist: Plagioklas (Olg) + Muskowit + Biotit

Neben geringmächtigen Einschaltungen in den Schiefern, gehören hierzu vor allem die sog. "Brettschiefer", die im Reischbergkar

eine ca. 300 m mächtige Abfolge bilden. Durch ihre homogene Erscheinungsform im Gelände bilden sie einen auffälligen Gegensatz zu angrenzenden bunten Serien. Diese relative Eintönigkeit war auch wohl der Grund, daß CHRISTA (1934) sie als Orthogneise einstufte. Ein weiteres Merkmal ist das Auftreten von Metabasiteinschaltungen, die in ihrer Zusammensetzung den Hornblenditen sehr ähnlich sind.

U.d.M. bildet Plagioklas mit Quarz ein heteroblastisches Gefüge. Die An-Gehalte liegen zwischen 20 und 30. Eine augengneisartige Ausbildung der Zweiglimmergneise ist teilweise zu beobachten. In diesem Fall tritt Kalifeldspat gehäuft auf. Biotit ist gegenüber Muskowit vorherrschend. Der in der Grundmatrix überwiegende Quarz bildet häufig linsenförmige Nester. Daß untergeordnet auch Hornblende an der Zusammensetzung der Gneise beteiligt war, zeigt die teilweise pseudomorphe Ausbildung der Biotite nach Hornblende.

3.7. Schiefer mit wechselnder Biotit-Muskowit-Vormacht

Mineralbestand: Biotit 5-34%, Muskowit 10-40%, Plagioklas 4-18%, Quarz 27-45%, Chlorit 0-5%, Disthen, Staurolith, Turmalin, Titanit, Epidot, Zirkon, Erz, Granat.

Mineralparagenesen: a) Disthen + Staurolith + Almandin + Plagioklas oder b) Staurolith + Biotit + Almandin + Plagioklas

In bunter Wechselfolge treten die Schiefer vornehmlich im Reischbergkar auf. Es lassen sich jeweils Schiefer mit Biotit- und Muskowitvormacht unterscheiden. Mineralbestand und Gefüge kennzeichnen sie als Metasedimente. Von besonderer Bedeutung sind sie für die mineralfazielle Einstufung der Greiner-Schiefer-Serie.

Am Handstück, wie auch im Dünnschliff ist häufig ein Wechsel von glimmerreichen- und quarz-plagioklasreichen Lagen zu beobachten. Es ist anzunehmen, daß dieser Lagenbau primär während der Sedimentation angelegt wurde und damit auf wechselnde Faziesbedingungen hindeutet. Daraus ergibt sich auch, daß während der Metamorphose die vorgegebenen Faziesgrenzen bewahrt wurden und Faziesunterschiede in unmittelbarer Nachbarschaft nicht verwischt wurden. Es kann daher angenommen werden, daß die Metamorphose annähernd konservativ verlief.

U.d.M. ist ein lepidoblastisches Gefüge von Muskowit/Serizit und Biotit in einem klein-mittelkörnigen Pflastergefüge aus Quarz und Plagioklas erkennbar. Biotit ist, wie Muskowit, feinschuppig und in $\bar{s}$ eingeregelt, daneben kommt jedoch auch Querbiotit vor. Granat ist in sehr unterschiedlicher Menge vorhanden. Er ist durchweg idiomorph, aber auch häufig zerbrochen und mit Quarz und Chlorit gefüllt. Der hypidiomorphe Plagioklas tritt meist in glimmerreichen Lagen auf. Ein typisches Nebengemengteil ist Turmalin. Er ist zonar gebaut und sowohl als Einzelkorn als auch in regellosen Kornhaufen zu finden. Ob die zur Bildung des Turmalins nötigen Borgehalte primär dem Sediment entstammen oder während der Metamorphose zugeführt wurden, läßt sich nicht entscheiden. Auch eine Rekristallisation detritischen Turmalins wäre denkbar (DEER, HOWIE & ZUSSMAN, 1969).

Disthen und Staurolith können sowohl in den muskowitreichen als auch in den biotitreichen Schiefern auftreten. Beide Mineralien sind als Akzessorien, aber auch als Hauptgemengteil zu finden. Der stark wechselnde Chemismus der Schiefer drückt sich darin aus. Berührungsparagenesen von Staurolith und Disthen konnten beobachtet werden. In diesem Falle zeigten sich die beiden Mineralien als frische (tauernkristalline) Neubildungen. Diese stimmt auch mit den Beobachtungen von MORTEANI (1971) überein. Daneben war jedoch auch stark korrodierter Staurolith und Disthen zu beobachten.

3.8. Granatführende Graphitschiefer

Mineralbestand: Plagioklas 3-34%, Quarz 38-60%, Kalifeldspat 0-13%,
O-13%, Biotit 9-23%, Muskowit 2-15%, Granat 0-13%, Karbonat, Epidot, Titanit, Chlorit, Erz.

Die Paragenese der Graphitschiefer ist: Muskowit + Biotit + Almandin + Plagioklas (Ab-Olg).

Die Graphitschiefer bilden eine ca. 700 m mächtige Abfolge im südlichen Teil des Arbeitsgebietes. Sie unterscheiden sich von den vorhergehend beschriebenen Schiefern durch den nahezu immer vorhandenen Granat und Graphit, durch ihre relative eintönige Abfolge (bei großer Mächtigkeit), durch einen + einheitlichen Mineralbestand und gleichförmiges Gefüge. Weiterhin ist eine aus-

geprägte Bänderung kennzeichnend, die durch Wechsellagerung dunkler Schiefer mit hellen Gneisen und Schieferen verursacht wird. Zu einer Bildung der Alumosilikate Disthen und Staurolith kam es nicht. Auch die sonst in der Greiner-Schiefer-Serie allgegenwärtige Hornblende konnte nur in einem Fall als blastische Neubildung in einer Probe zu Beginn des Profils beobachtet werden. Alle diese Merkmale weisen auf eine Faziesänderung innerhalb der Greiner Serie hin und somit auch auf veränderte Sedimentationsbedingungen.

Die im Gelände und am Handstück feststellbare Wechselfolge von hellen und dunklen Lagen setzt sich bis in den Dünnschliffbereich fort. Hier zeigt sich, daß diese Schiefer sehr quarzreich sind (40-70 Vol.%), ihre dunkle Färbung aber durch den Graphit erhalten, der gleichmäßig das Gefüge durchstäubt. Er ist hauptsächlich an die glimmerreichen Partien gebunden. Vorherrschend ist ein feinkörniges, granoblastisches Quarz-Plagioklas-Gefüge, in dem der Plagioklas (An_{10-20}) ein meist unverzwilligtes, frisches Korn bildet. Die An-Gehalte liegen bedeutend niedriger als in den bisher besprochenen Serien. Allerdings zeigt auch das Fehlen von Hornblende und die chemische Analyse, daß das Calciumangebot in diesen Gesteinen bedeutend geringer ist und der Chemismus der Plagioklase somit durch den Pauschalchemismus des Gesteins kontrolliert wird. Biotit ist gegenüber Muskowit in den dunklen, graphitreichen Lagen vorherrschend. Der Granat ist frisch und von idiomorpher Ausbildung. Epidot und Turmalin tritt nur spärlich auf.

Ebenso wie in den Zweiglimmergneisen sind auch in den Graphitschiefern Metabasiteinschaltungen zu finden, die in einer amphibolitischen Zusammensetzung entsprechen.

3.9. Zur Metamorphose der Greiner-Schiefer-Serie

Die Gesteine der Greiner-Schiefer-Serie erhielten ihre Hauptprägung - zusammen mit den Zentralgneisen - durch die großräumige alpidische Metamorphose ("Tauernkristallisation").

Die Bildung Staurolith-Disthen, die Instabilität von Margarit und Paragonit (ACKERMAN & MORTEANI, 1973), sowie die Koexistenz von Plagioklas (Olg-And) mit Epidot, deuten auf die unterste Amphibolitfazies hin (Staurolith-Almandin-Subfazies nach WINKLER, 1967). Eine ältere(?), schwächere Metamorphose läßt sich durch die Paragenese Almandin + Chlorit + Hornblende in die höchsttemperierte Grünschieferfazies einordnen.

Daraus ergibt sich ein zweiphasiger Verlauf der Tauernkristallisation (MORTEANI, 1971 und RAITH, 1971). Darauf deuten der inverse Zonarbau der Plagioklase hin und der Zonarbau der Epidote (Fe-reicher Kern, Fe-arme Rand). In den beschriebenen Serien war diese Beobachtung ebenfalls zu machen. Daß mit dem letzten Metamorphoseanstieg auch die höchste metamorphe Fazies erreicht wurde, zeigt die Paragenese Disthen-Staurolith in einem Biotit-Staurolith-Schiefer. Disthen und Staurolith treten hier eindeutig als frische, tauernkristalline Neubildungen auf.

Die räumliche Verteilung der Metamorphosegrade (dargestellt durch An-Isograden, MORTEANI & RAASE, 1974 und durch Isothermen, HOERNES & FRIEDRICHSEN, 1974) ergibt einen kontinuierlichen Anstieg vom Rand des Tauernfensters zum Zentrum (in dem auch die Greiner-Schiefer-Serie liegt). Dieser "progressive" Charakter der alpidischen Metamorphose wird durch die Ergebnisse von WEBER-DIEFENBACH (1976) bestätigt.

4. Ergebnisse der geochemischen Untersuchungen

Gemäß der Aufgabenstellung wurden zur Auswertung des umfangreichen Datenmaterials folgende Methoden angewandt:

- Als Grundlage für alle weiteren Überlegungen wurden anhand des Durchschnittschemismus, aber auch durch Mittelwerte einzelner Haupt-, Neben- und Spurenelemente oder deren Quotienten signifikante Kennwerte einzelner Serien oder Gesteinstypen erarbeitet. Dadurch war die Möglichkeit gegeben, petrographisch ähnliche, aber räumlich getrennt auftretende Gesteinstypen auf ihre Vergleichbarkeit zu überprüfen.
- Um Aussagen über das Ausgangsmaterial der Greiner-Schiefer-Serie zu erhalten, wurden die Elementtrends von Sedimentiten und Magmatiten mit den Elementtrends der in ihr auftretenden Gesteinstypen verglichen. Neben dem Spurenschemismus wurde aufgrund einer höheren statistischen Sicherheit hauptsächlich der Hauptschemismus herangezogen. Es kamen auch statistische Methoden zur Anwendung (Korrelationskoeffizienten, Rang-Korrelationskoeffizienten).

4.1. Überblick

Die große Vielfalt der in der Greiner Serie auftretenden Gesteinstypen ließ es als zweckmäßig erscheinen, diese getrennt zu behandeln. Zuvor soll jedoch ein zusammenfassender Überblick über den Hauptschemismus der bearbeiteten Serien gegeben werden, sowie der Versuch einer ersten Gliederung unternommen werden.

In Abb. 2 sind die Niggli-Kennwerte al , alk , fm und mg gegenüber si aufgetragen. Aus dieser Darstellung wird die große geochemische Variationsbreite der Greiner Schiefer deutlich. Es sind zwei Hauptgruppen unterscheidbar, denen sich jeweils unterschiedliche Trends zuordnen lassen. Es sind dies alle basischen, Hornblende als Hauptgemengteile führenden Gesteine (Hornblendit, Amphibolit, Garbenschiefer, Hornblende-Biotitschiefer, mit Einschränkung auch die Epidot-Knollengneise) und die große Gruppe der Gneise und Schiefer.

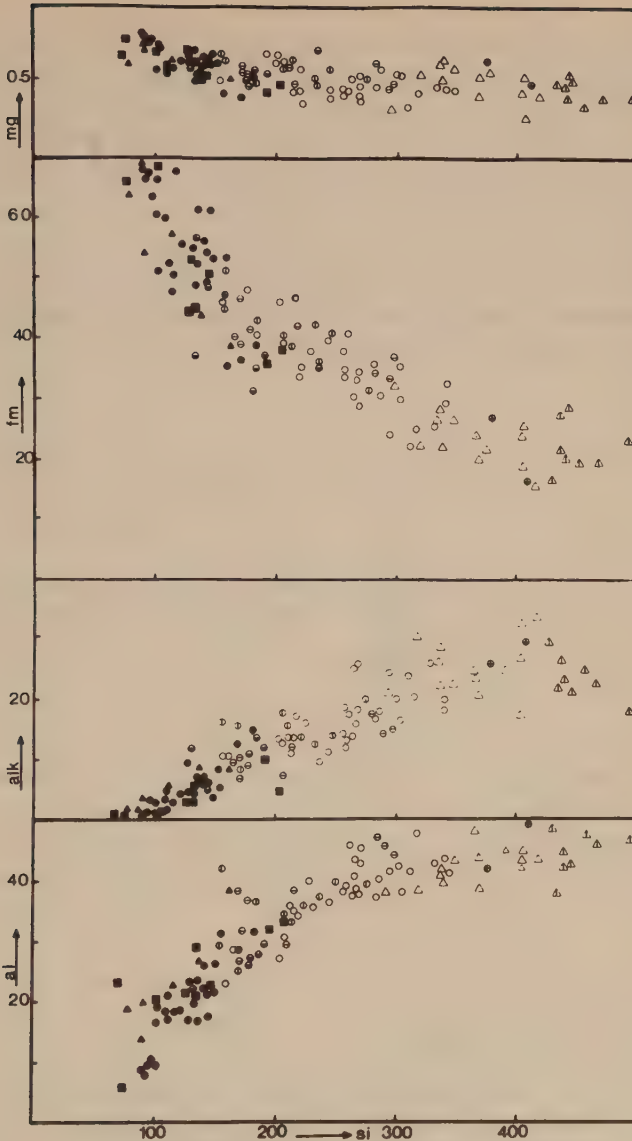


Abb. 2: Variationsdiagramm der Niggli-Kennwerte al, alk, fm und mg aller Proben gegen si.

Hornblendit (●), Amphibolit (●), Hornblende-Chloritschiefer (▲), Hornblende-Plagioklasgneis (■), Hornblende-Biotitschiefer (◐), Epidot-Knollengneis (◑), Biotit-Muskowitschiefer (◒), Muskowit-Biotitschiefer (◓), granatführende Graphitschiefer: dunkle Serien (○), helle Serien (△), Zweiglimmergneis (△), Muskowit-Knollengneis (⊕).

Die Hornblendite und Amphibolite, Garbenschiefer und Hornblende-Biotitschiefer nehmen einen verhältnismäßig engen Bereich zwischen 80 und 200 si ein und zeigen eine positive Korrelation gegenüber al und alk. Die Gneise und Schiefer folgen im allgemeinen diesen Korrelationen, zeigen aber in den Diagrammen al/si, fm/si und mg/si einen deutlich verschiedenen Trendverlauf. Abb. 2 läßt auch erkennen, daß einige Gesteinstypen teilweise erheblich streuen. Dies sind vornehmlich die Garbenschiefer und die granatführenden Graphitschiefer. Zu dieser Gruppe ist auch der Muskowit-Knollengneis zu rechnen.



Abb. 3: Darstellung aller Proben im Konzentrationsdreieck Al_2O_3 - FeO - MgO

Hornblendit (◐), Amphibolit (●), Hornblende-Chloritschiefer (▲), Hornblende-Plagioklasgneis (■), Hornblende-Biotitschiefer (◑), Epidot-Knollengneis (◐), Biotit-Muskowitschiefer (◑), Muskowit-Biotitschiefer (◑), granatführende Graphitschiefer (○), Zweiglimmergneis (△) und Muskowit-Knollengneis (◑).

Die vor allem in den Korrelationen mg/si und fm/si erkennbare unterschiedliche Beziehung der beiden Hauptgruppen zu den Eisen- und Magnesiumgehalten, kommt noch ausgeprägter in der Darstellung

des Konzentrationsdreiecks Al_2O_3 - FeO - MgO (Abb. 3) zum Ausdruck. Die hornblendeführenden Gesteine sind durch konstante FeO-Gehalte und ein variables $\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Verhältnis charakterisiert. Die Gneise und Schiefer zeigen dagegen ein einheitliches FeO/MgO-Verhältnis während die Aluminiumgehalte variieren.

Diese erste Gliederung der in der Greiner-Schiefer-Serie auftretenden Gesteinstypen nach geochemischen Gesichtspunkten entspricht auch weitgehend den petrographischen Gegebenheiten. Sie wird bei der folgenden Darstellung des Chemismus der einzelnen Serien beibehalten.

4.2. Chemismus der hornblendeführenden Gesteine

4.2.1. Hornblendit

Es werden hier die Hornblendite behandelt, die an der Grenze zum Tuxergneis im nördlichen Teil der Greiner Serie auftreten, sowie als 1-5 m mächtige Einschaltungen in den Zweiglimmergneisen des Reichbergkars.

Entsprechend ihrem hohen, modalen Hornblendegehalt, sind für die Hornblendite auch hohe MgO- und CaO-Gehalte kennzeichnend. Ferner die niedrigen Alkaligehalte, wobei das Verhältnis $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ immer größer als 1 ist. Eine weitere geochemische Charakteristik sind die hohen Chrom- und Nickelgehalte (Tab. 1).

	(1)	(2)	
	n=5	n=2	
SiO_2	50,6	50,4	48,4 - 52,8
TiO_2	0,28	0,72	0,19 - 0,76
Al_2O_3	10,7	8,8	8,4 - 15,3
Fe_2O_3	10,4	9,9	7,9 - 15,3
MnO	0,18	0,24	0,13 - 0,27
MgO	16,5	17,8	11,4 - 20,8
CaO	11,4	11,1	9,5 - 12,5
Na_2O	0,40	0,60	0,20 - 1,0
K_2O	0,27	0,46	0,15 - 0,67

Tab. 1: Mittelwerte und Schwankungsbreite der Hornblendite (1) im nördlichen Teil der Greiner Serie (Profil "C") und den hornblenditischen Einschaltungen in den Zweiglimmergneisen (2)

Vergleicht man die Mittelwerte der beiden Hornblendetypen, so ergibt sich eine gute Vergleichbarkeit im Hauptchemismus, die durch einen statistischen Vergleich nach der Rangmethode (MARSAL, 1967) bestätigt wird ($R^* = 0,989$). Diese Tatsache wird allerdings durch die unterschiedliche Probenzahl bei beiden Gesteinseinheiten etwas eingeschränkt.

Ebenso wie im Hauptchemismus zeigt die Verteilung der Spurenelemente Cr, Ni und Sr in den Hornblenditen des Profils "C" eine beträchtliche Schwankungsbreite.

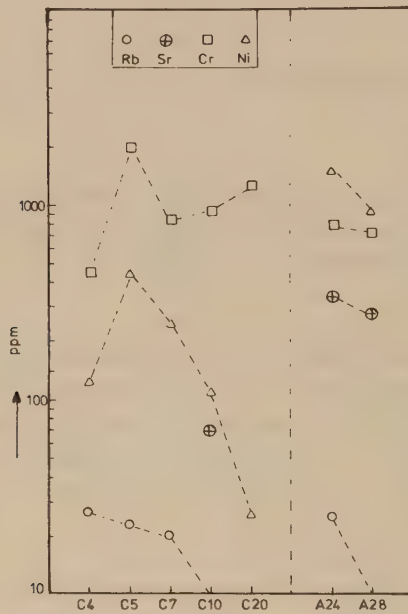


Abb. 4: Verteilung der Spurenelemente Cr, Ni, Rb und Sr in den Hornblenditen aus dem nördlichen Teil der Greiner Serie (Profil "C") und den hornblenditischen Einschaltungen in den Zweiglimmergneisen (Profil "A").

Strontium konnte nur in einer Probe bestimmt werden, Zirkonium war dagegen in keiner Probe nachzuweisen. Wie aus Abb. 4 ersichtlich unterscheiden sich die Hornblendite an ihrem Cr/Ni-Verhältnis.

Bei den Proben aus Profil "C" ist es stets größer als 1, während es bei den hornblenditischen Einschaltungen in den Zweiglimmergneisen durchschnittlich 0,62 beträgt. Ähnliches gilt auch für die Verteilung des Strontiums.

Es ist allerdings anzunehmen, daß diese Unterschiede nicht in einem verschiedenen Ausgangsmaterial begründet sind, da Cr und Ni zu starken Schwankungen unterworfen sind und in diesem Fall der Hauptchemismus allein maßgebend ist.

4.2.2. Amphibolit

Die Amphibolite treten als geringmächtige Einschaltungen überwiegend in den Schiefern des Reischbergkars auf, sowie im sog. südlichen Amphibolit. Eine detaillierte geoschemische Bearbeitung der Amphibolite ist bei WEBER-DIEFENBACH (1976) zu finden.

Einen Überblick über den Hauptchemismus und eine vergleichende Gegenüberstellung der verschiedenen Amphibolite gibt Abb. 5. Daraus ergibt sich, daß der südliche Amphibolit gegenüber den amphibolitischen Einschaltungen des Reischbergkars wesentlich magnesiumärmer ist, aber höhere Calciumgehalte (10,2 gegenüber 7,5%) aufweist. Weiterhin zeigen die Alkalien ein gegenläufiges Verhalten. Ein weiteres Merkmal des südlichen Amphibolits sind die hohen Titangehalte, die mit durchschnittlich 1,3% um vieles höher liegen als bei den Amphiboliten des Reischbergkars (0,64%). Damit sind geochemische Kriterien gegeben, die es gestatten die Amphibolite des Arbeitsgebietes zu untergliedern.

	(ppm)	Rb	Sr	Zr	Cr	Ni	Ca/Sr	Cr/Ni
Amphibolite des Reischbergkars	36	357	59	378	90	187	4,20	
südl. Amphibolit	39	221	86	377	81	462	4,65	

Tab. 2: Mittelwerte der Spurenelemente Rb, Sr, Zr, Cr und Ni, sowie den Quotienten Ca/Sr und Cr/Ni.

Ganz im Gegensatz zum Hauptchemismus ist die Übereinstimmung bei den Spurenelementen Rb, Sr, Zr, Cr und Ni (Tab. 2) sehr gut. Lediglich die Strontiumgehalte der südlichen Amphibolite liegen niedriger. Dies kommt auch in dem Ca/Sr-Verhältnis zum Ausdruck.

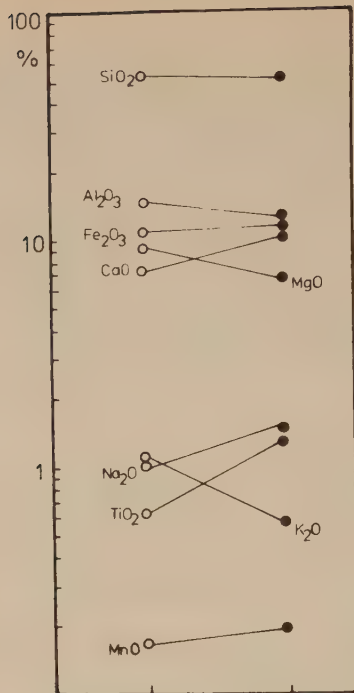


Abb. 5: Darstellung des durchschnittlichen Hauptchemismus der amphibolitischen Einschaltungen in den Gneisen und Schiefen des Reichbergkars (o) und des südlichen Amphibolits (●).

4.2.3. Hornblende-Garbenschiefer

Aus Abb. 6 ist zu ersehen, daß Hornblende-Chloritschiefer und Hornblende-Plagioklasgneise in ihren SiO₂-Gehalten einen weiten Bereich überdecken, wobei die letzteren aufgrund der höheren Quarz-Feldspatgehalte auch zu höheren Siliziumwerten tendieren.

Dies ist, zusammen mit den höheren Eisen- und Magnesiumgehalten der Hornblende-Chloritschiefer der wesentliche Unterschied beider Gesteinstypen.

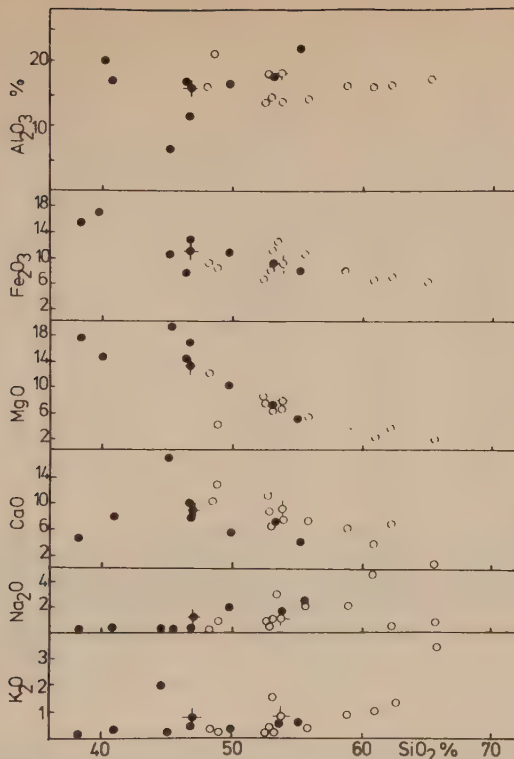


Abb.6: Überblick über den Hauptchemismus der Hornblende-Chloritschiefer (●) und Hornblende-Plagioklasgneise (○), dargestellt durch die Korrelationen Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O und K_2O gegen SiO_2

● = Mittelwert Hornblende-Chloritschiefer
○ = Mittelwert Hornblende-Plagioklasgneise

In Tab. 3 werden die Hornblende-Plagioklasgneise nach ihrem räumlichen Auftreten noch weiter aufgegliedert. Der Unterschied der Garbenschiefer 3 und 4 (= gebänderte Hornblende-Plagioklasgneise nach PROSSER, 1972) liegt hauptsächlich in der unterschiedlichen Hornblendeführung begründet. Dies deutet auf eine Verschiebung des Primärchemismus in Richtung eines saueren und alkali-betonteren Ausgangsgesteins.

Ein Vergleich der im lithologischen Verband auftretenden Hornblende-Chloritschiefer 2 und Hornblende-Plagioklasgneise 1 zeigt eine bessere Übereinstimmung, vor allem in den Siliziumgehalten.n.

	1	2	3	4
	n=12	n=8	n=3	n=9
SiO ₂	53,9	47,0	49,8	57,8
TiO ₂	0,64	0,56	0,39	0,89
Al ₂ O ₃	17,8	16,4	19,5	16,1
Fe ₂ O ₃	8,8	11,5	8,7	8,8
MnO	0,14	0,16	0,12	0,15
MgO	6,3	13,2	8,3	5,5
CaO	8,7	8,2	10,8	6,5
Na ₂ O	1,3	1,2	0,68	1,9
K ₂ O	0,79	0,53	0,37	1,2

Tab. 3: Durchschnittschemismus der Hornblende-Plagioklasgneise (1) und Hornblende-Chloritschiefer (2), sowie eine Gegenüberstellung der Hornblende-Plagioklasgneise aus dem nördlichen Teil der Greiner Serie (3) und den gebänderten Garbenschiefern aus dem mittleren Reischbergkar (4).

4.2.4. Hornblende-Biotitschiefer

Die Hornblende-Biotitschiefer treten als geringmächtige (0,5-2 m) Lagen in verschiedenen Teilen des Profils auf und damit auch oft in einer unterschiedlichen lithofaziellen Umgebung. Da einige Proben (z.B. C13 und F32) unter dem Mikroskop eine sehr gute Übereinstimmung zeigen, war es von Interesse, ob sie auch in ihrem Chemismus vergleichbar sind. Die Gegenüberstellung (Tab. 5) zeigt eine gute Übereinstimmung im Hauptchemismus. Die einzigen Abweichungen sind bei den Elementen Magnesium und Aluminium zu finden.

	Rb	Sr	Zr	Cr	Ni	Cu	Zn	Ca/Sr	Cr/Ni
(ppm)	86	357	163	588	226	2	39	137	0,24

Tab. 4: Mittelwerte der Spurenelemente Rb, Sr, Zr, Cr, Cu und Zn in den Hornblende-Biotitschiefern, sowie der Quotienten Ca/Sr und Cr/Ni.

	(1)	(2)	(3)
	n=5	n=1	n=3
SiO ₂	55,3	55,4	55,3
TiO ₂	0,83	0,96	0,90
Al ₂ O ₃	14,6	17,0	14,1
Fe ₂ O ₃	8,3	8,3	8,4
MnO	0,12	0,11	0,12
MgO	10,1	8,5	10,1
CaO	6,5	6,8	5,9
Na ₂ O	0,54	0,32	0,57
K ₂ O	2,7	3,3	2,8

Tab. 5: Mittelwert der Hornblende-Biotitschiefer (1), sowie eine vergleichende Gegenüberstellung von Hornblende-Biotitschiefern aus verschiedenen Teilen des Profils:

(2) = Probe C13, nahe der Grenze zum Tuxergneis

(3) = Mittelwert von Einschaltungen in den granat-führenden Graphitschiefern.

Da die Hornblende-Biotitschiefer sehr häufig eine Wechselfolge von Hornblende- und Glimmerlagen zeigen, repräsentieren die Analysen zwei (genetisch?) unterschiedliche "Gesteinstypen" ("Metatuffite" nach PROSSER, 1972). Diese dürfte die Ursache für die unterschiedlichen MgO- und Al₂O₃-Werte sein. Von Bedeutung erscheint auch, daß das Alkaliverhältnis Na₂O/K₂O für alle Proben kleiner 1 ist (durchschnittlich 0,20).

Bei den Spurenelementen sind die hohen Cr- und Ni-Gehalte (bis max. 1012 bzw. 804 ppm) in zwei Proben erwähnenswert (F15 und F5). Durch diese hohen Werte wird der Durchschnitt für Chrom und Nickel (Tab. 4) etwas verfälscht, da die Konzentrationen in den übrigen Proben wesentlich niedriger liegen. Die auch sonst in anderen Gesteinstypen beobachtbaren hohen Cr-Gehalte sind möglicherweise auf Fuchsit-Beimengungen zurückzuführen, der in der Greiner Serie häufig auftritt. Dies erklärt allerdings nicht die überdurchschnittlichen hohen Nickelgehalte.

4.2.5. Epidot-Knollengneis

Die Epidot-Knollengneise liegen in der Übersichtsdarstellung (Abb. 2) in dem Grenzbereich zwischen hornblendeführenden und den hornblendefreien Gesteinen. Obwohl Hornblende nicht immer Hauptgemengteil ist, werden sie dennoch in der ersten Gruppe beschrieben

Sie unterscheiden sich von den bisher besprochenen Gesteinstypen durch höhere Silizium- und Alkaligehalte (Tab. 6).

	n=6		
SiO ₂	59,4	52,5 - 64,7	Rb (ppm) 56
TiO ₂	0,84	0,70- 1,1	Sr 1030
Al ₂ O ₃	15,7	15,1 - 16,4	Zr 262
Fe ₂ O ₃	6,7	5,8 - 8,9	Cr 142
MnO	0,11	0,09- 0,13	Ni 26
MgO	4,8	3,5 - 6,9	Ca/Sr 71,5
CaO	6,7	3,5 - 12,4	
Na ₂ O	2,2	0,71- 3,3	
K ₂ O	2,3	0,93- 3,1	

Tab. 6: Durchschnittlicher Hauptchemismus und Schwankungsbreite der Epidot-Knollengneis, sowie die Mittelwerte der Spurenelemente Rb, Sr, Zr, Cr und Ni und des Quotienten Ca/Sr.

Ein weiteres geochemisches Merkmal ist der außerordentlich hohe Sr-Gehalt (max. bis 2035 ppm). Werte in dieser Höhe konnten bisher in den anderen Gesteinstypen der Greiner-Schiefer-Serie nicht nachgewiesen werden. Die Geochemie des Strontiums ist eng mit der des Calciums verbunden (TUREKIAN & KULP, 1956 und VLASOV, 1966). Da Ca-reiche Mineralien in den Epidot-Knollengneisen vorherrschend sind (Epidot, Hornblende, intermediärer Plagioklas), liegt möglicherweise darin die Ursache für diese hohe Strontiumführung. Auf die genetische Bedeutung wird im folgenden noch eingegangen. In diesem Zusammenhang ist es auch erwähnenswert, daß karbonatischer Biotitgneis, der in die granatführenden Graphit-

schiefer einschaltet ist, ähnlich hohe Sr-Gehalte aufweist wie der Epidot-Knollengneis. Beide Gesteine sind in ihrem Hauptchemismus gut vergleichbar.

4.3. Chemismus der hornblendefreien Gesteine

In diesen Gesteinen kommt zwar gelegentlich Hornblende vor, sie ist aber nicht als Hauptgemengteil vertreten.

4.3.1. Zweiglimmergneis

Die Zweiglimmergneise treten hauptsächlich in der Serie der sog. "Brettschiefer" auf. Ihr homogenes Erscheinungsbild im Gelände spiegelt sich auch in dem über das ganze Profil sehr einheitlichen Chemismus wieder (Abb. 7). Die Zweiglimmergneise lassen sich als alkalireiche, saure Gneise charakterisieren, bei denen das Verhältnis $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ immer größer als 1 ist (s.a. Abb. 8). Diese Merkmale sind auch anderen Gesteinen der Greiner Serie eigen. Dazu gehören der Knollen-Muskowitgneis, sowie einige geringmächtige Einschaltungen in den Schiefern des Reischbergkars (A18, A53, A55). Diese drei Gesteinstypen werden aus diesem Grunde zu der Gruppe der sauren, alkalireichen Gesteine mit Natronvor-macht zusammengefaßt.

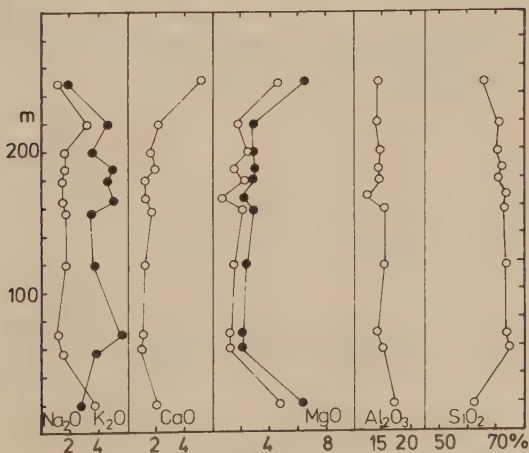


Abb. 7: Variation des Hauptchemismus der Zweiglimmergneise über das Profil. Die in diesem Gestein auftretenden Metabasiteinlagerungen wurden nicht mit berücksichtigt.

Daß dies gerechtfertigt ist, zeigt auch der Vergleich im Spurenelementchemismus (Tab. 7). Eine Ausnahme macht allerdings der Muskowit-Knollengneis, der in Gegensatz zu den übrigen Gesteinen ein höheres Rb/Sr-Verhältnis aufweist (2,98).

	(ppm) Rb	Sr	Zr	Cr	Ni
Zweiglimmergneis (n=10)	52	235	185	26	18
Muskowit-Knollengneis (n=2)	93	35	185	45	41
Einschaltungen in den Schiefer des Reischbergkars (n=3)	42	143	181	84	18

Tab. 7: Mittelwerte der Spurenelemente Rb, Sr, Zr, Cr und Ni in den sauren, alkalireichen Gesteinen mit Natronvormacht

4.3.2. Glimmerschiefer mit wechselnder Muskowit-Biotit-Vormacht

Auch bei diesen bunten, sehr wechselhaften Serien stellte sich besonders das Problem einer Gliederung und Zusammenfassung in geochemisch vergleichbare Gruppen. Diesem Zweck diente wiederum das Verhältnis der Alkalien $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$. Bei der Eintragung in dieses Diagramm ergab sich, daß Schiefer mit Biotitvormacht bis auf zwei Ausnahmen Natronüberschuß zeigen, während bei den muskowit-reichen Schiefen K_2O überwiegt (Abb. 8).

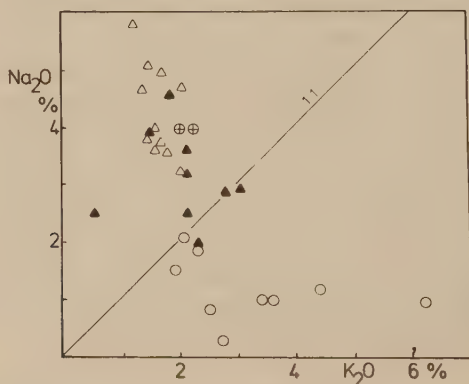


Abb. 8: Darstellung der Schiefer mit Biotit (▲)- oder Muskowit (○)-Vormacht im Variationsdiagramm $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$. Ferner wurden die Bereiche für den Zweiglimmergneis (△) und Knollen-Muskowitgneis (⊗) zum Vergleich mit eingetragen.

Eine Trennung der beiden Gesteinsgruppen aufgrund dieses Merkmals erscheint etwas willkürlich, da eine Mobilisierung der Alkalien in der Greiner Serie häufig zu beobachten ist (z.B. Umwandlung von Hornblende nach Biotit). Diese Einteilung läßt sich jedoch gut mit den petrographischen Gegebenheiten vereinbaren und erscheint deshalb auch gerechtfertigt.

Betrachtet man die Variation des Hauptchemismus (Abb. 9), so ergeben sich bei den Elementen Silizium, Aluminium und Eisen nur geringe Unterschiede, die bei den Calcium-, Magnesium-, Kalium- und vor allem bei den Natriumgehalten deutlicher in Erscheinung treten.

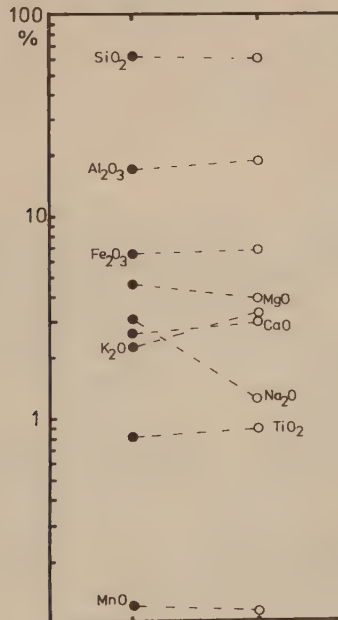


Abb. 9: Variation des durchschnittlichen Hauptchemismus der Schiefer mit Biotit (●) - und Muskowit (○) -Vormacht.

4.3.3. Granatführende Graphitschiefer

Mit dieser mächtigen Serie beginnt in den Greiner Schiefern ein neuer Faziesbereich. Generell lassen sich graphit- und granatreiche Schiefer von hellen sauren unterscheiden.

Welche Variationsbreite ihr Chemismus einnimmt, zeigt die Häufigkeitsverteilung der SiO_2 -Gehalte (Abb. 10). Die Schiefer überdecken einen Bereich von 56-78% SiO_2 und wurden danach in drei Einheiten gegliedert. Die dunklen graphitischen Schiefer (I) stellen den Hauptanteil und zeigen Gehalte, die zwischen 60% und 70% liegen. Davon unterscheidet sich ein zweiter Typ (II) mit einem Maximum bei 56%. Von diesen beiden Gruppen liegen die hellen sauren Schiefer mit einer Häufung bei 76% SiO_2 getrennt.

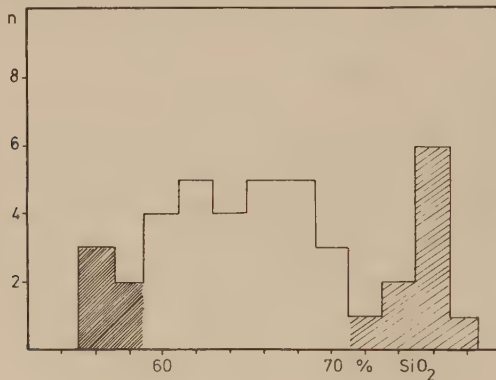


Abb. 10: Häufigkeitsverteilung der SiO_2 -Gehalte in den granat-führenden Graphitschiefern. Es lassen sich drei Gruppen, in Übereinstimmung mit der übrigen Elementverteilung, unterscheiden:

dunkle, graphitreiche Schiefer I (weiß) und II (eng schraffiert) und die hellen, sauren Einschaltungen III (weit schraffiert).

Diese Einteilung findet ihre Bestätigung wenn man den Hauptchemismus dieser drei Gruppen vergleicht (Abb. 11). In der Richtung der hellen Lagen zeigt sich eine konstante Abnahme von CaO ,

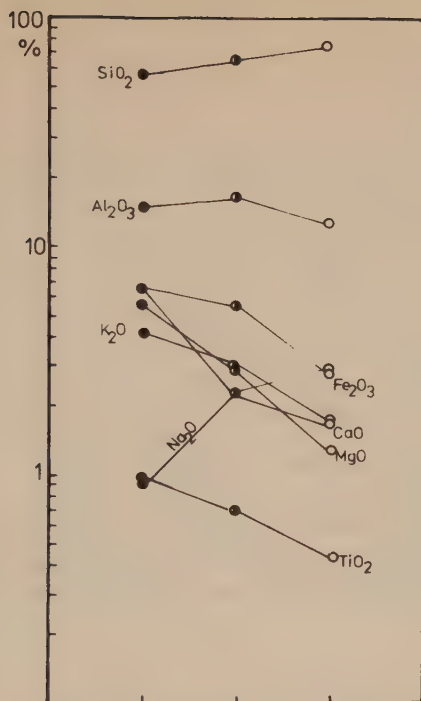


Abb. 11: Variation des durchschnittlichen Hauptchemismus der granatführenden Graphitschiefer

- = Graphitschiefer (II)
- ◐ = Graphitschiefer (I)
- = helle, saure Einschaltungen (III)

MgO, Fe₂O₃, K₂O und TiO₂, sowie eine stetige Zunahme von SiO₂ und Na₂O. Aus der Verteilung der Alkalien (Abb. 12) ergibt sich, daß der größte Teil der dunklen, graphitischen Schiefer (I u. II) entsprechend ihrem hohen Glimmeranteil K₂O-Vormacht aufweist, während die hellen Lagen (III) in das Na₂O-Feld zu liegen kommen. Sie sind somit gut mit den Zweiglimmergneisen und den Muskowit-Biotitschiefern vergleichbar.

Da von v. SCHWARZENBERG (1973) die Serien im Bereich des Pfitscher Jochs bearbeitet wurden, bietet sich ein Vergleich der Analysen aus beiden Arbeitsgebieten an (Tab. 9).

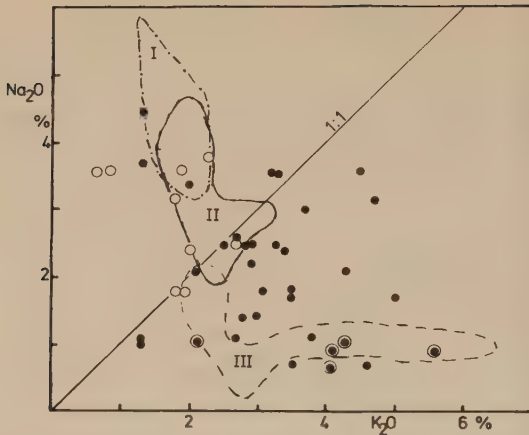


Abb. 12: Darstellung der granatführenden Graphitschiefer I (●), II (⊙) und III (O). Eingetragen sind auch die Bereiche für die Zweiglimmergneise (I), die Biotit-Muskowitschiefer (III) und die Muskowit-Biotitschiefer (II).

	K ₂ O%	TiO ₂ %	MnO	Cr	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr(ppm)
dunkle Lagen	3,3 (3,3)	0,75 0,74	1180 1000	175 139	50 57	31 13	122 37	178 120	178 291	173 207)
helle Lagen	1,9 (1,6)	0,56 0,43	951 500	84 82	24 28	25 5	71 45	98 99	220 289	230 237)

Tab. 9: Vergleich der dunklen Graphitschiefer und der hellen sauren Lagen aus dem Gebiet des Pfitscher Jochs (v. SCHWARZENBERG, 1973) und des Oberen Schlegeisgrundes (in Klammern).

Obwohl bei dieser Gegenüberstellung aufgrund fehlender Daten der Hauptchemismus nicht gänzlich berücksichtigt werden konnte, ergibt sich eine sehr gute Vergleichbarkeit, die selbst noch im Spurencemismus deutlich zum Ausdruck kommt. Es ist für die granatführenden Graphitschiefer daher in beiden Gesteinen ein einheitliches Ausgangsgestein anzunehmen, wobei auch die Sedimentation unter gleichen Bedingungen ablief.

4.3.4. Zusammenfassung

Aufgrund spezifischer geochemischer und petrographischer Merkmale lassen sich die Gesteine der Greiner-Schiefer-Serie in zwei Hauptgruppen untergliedern:

in eine basische, hornblendeführende (Hornblendit, Amphibolit, Hornblende-Garbenschiefer, Hornblende-Biotitschiefer) und in eine intermediäre bis saure, meist hornblendefreie Gruppe (Zweiglimmergneis, Biotit-Muskowitschiefer, Muskowit-Biotitschiefer, Muskowit-Knollengneis, granatführende Graphitschiefer).

In Abb. 13 ist der Chemismus der wichtigsten Hauptgesteinstypen noch einmal zusammenfassend dargestellt.

Endglieder dieser beiden Gruppen sind die sehr basischen Hornblendite und die extrem sauren hellen Einschaltungen in den Graphitschiefern.

Die hornblendefreien Gesteinstypen lassen sich anhand des Alkaliverhältnisses $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ noch weiter unterteilen. Zu den Na_2O -betonten Gesteinen gehören die Zweiglimmergneise, die Muskowit-Knollengneise, die Muskowit-Biotitschiefer und die hellen Einschaltungen in den Graphitschiefern. K_2O -Vormacht ist für die Biotit-Muskowitschiefer und für die Graphitschiefer kennzeichnend. Weiterhin stellt sich heraus, daß ähnliche, aber räumlich getrennt auftretende Gesteinstypen in ihrem Chemismus gut vergleichbar sind (Hornblende-Biotitschiefer, Hornblendite und hornblenditische Einschaltungen in den Zweiglimmergneisen) oder eine unterschiedliche Stoffentwicklung zeigen (Hornblende-Plagioklasgneise, Amphibolite).

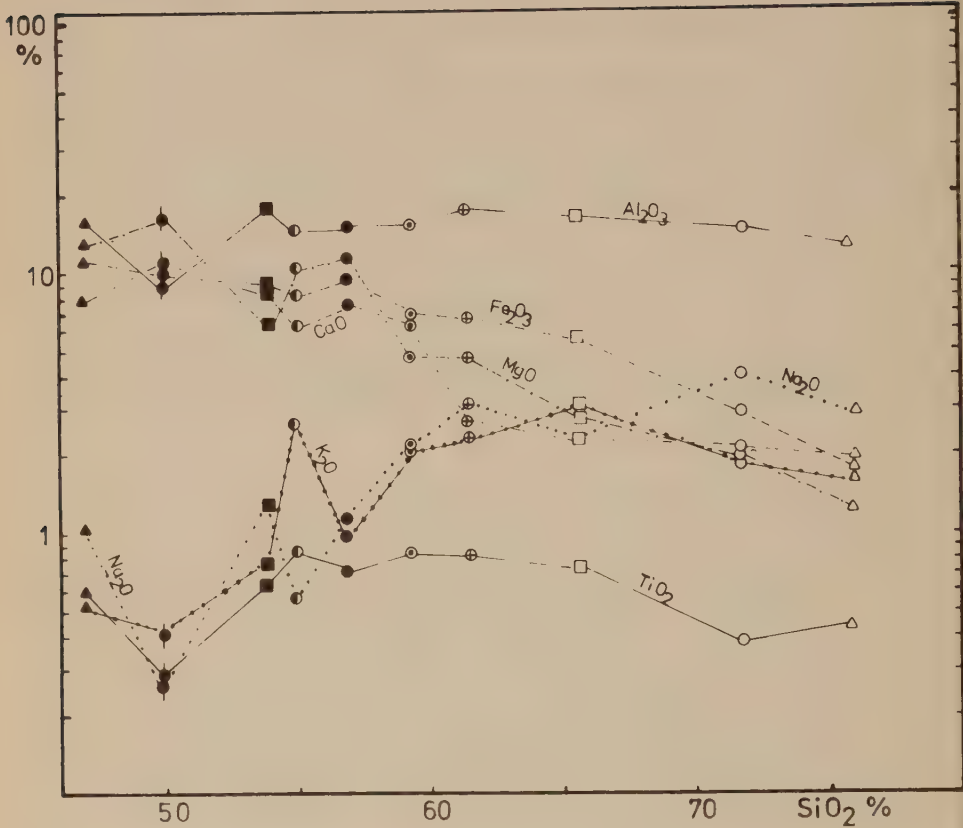


Abb. 13: Zusammenfassender Überblick über die Variation des Hauptchemismus der wichtigsten Gesteinstypen der Greiner-Schiefer-Serie:

Chlorit-Hornblendeschiefer (▲), Hornblendit (◆), Hornblende-Plagioklasgneis (■), hornblende-Biotitschiefer (●), Amphibolit (⊙), Epidot-Knollengneis (⊗), Muskowit-Biotitschiefer (⊠), granatführende Graphitschiefer I (□) und helle saure Einschaltungen in den Graphitschiefern (△).

Aus Gründen der Übersichtlichkeit konnten der südliche Amphibolit und die Biotit-Muskowitschiefer nicht mehr berücksichtigt werden.

4.4. Das Ausgangsmaterial der Greiner-Schiefer-Serie

Geochemische Untersuchungen an Metamorphiten, insbesondere wenn es um die Klärung des Ausgangsgesteins geht, setzen weitgehend isochemischen Verlauf der Metamorphose voraus. Dieser Nachweis läßt sich in dem vorliegenden Arbeitsgebiet nicht exakt erbringen, da die Gesteine der Greiner-Schiefer-Serie in einem einheitlichen Metamorphosegrad vorliegen und sich daher auch nicht durch Normalreihen auf eventuelle Stoffverschiebungen überprüfen lassen.

Es muß daher bei der Interpretation der geochemischen Daten ein stoffkonstanter Verlauf der Metamorphose angenommen werden. Daß diese Annahme berechtigt ist, zeigen die Untersuchungen verschiedener Autoren wie z.B. LODEMANN (1970), SHAW (1956), LANGE (1968), sowie die spezifisch-geochemischen Unterscheidungsmerkmale der einzelnen Gesteinstypen der Greiner Serie. Größere Stoffverschiebungen hätten zu einer Homogenisierung und gegenseitigen Anpassung und zur Verwischung der primär angelegten Faziesgrenzen führen müssen. Eine weitere Bestätigung ist die Bewahrung typischer Magmatit- und Sedimentittrends und der Nachweis sedimentärer Gefüge (LAMMERER, mdl. Mitt., 1976).

Einen ersten Überblick über die genetische Stellung der Gesteine der Greiner-Schiefer-Serie gibt das Variationsdiagramm (al-alk)-c (NIGGLI, 1952). Hier zeigt sich, daß die getroffene Aufteilung in hornblendeführende und hornblendefreie Gesteine im wesentlichen auch einer genetischen Gliederung entspricht. In das Sedimentfeld kommen die Zweiglimmergneise, Biotit-Muskowitschiefer, Muskowit-Biotitschiefer und die granatführenden Graphitschiefer (I-III) zu liegen. Dabei ist zu beachten, daß diese Gesteine in ihren (al-alk)-Werten einen relativ großen Bereich überdecken, während sie um c nur in geringen Grenzen schwanken. Ein Trend, der auf die Beteiligung von karbonatischem Material hindeuten könnte, ist nicht erkennbar. Die Amphibolite und Hornblendite fallen mit deutlicher Differenzierung erwartungsgemäß in das Orthofeld.

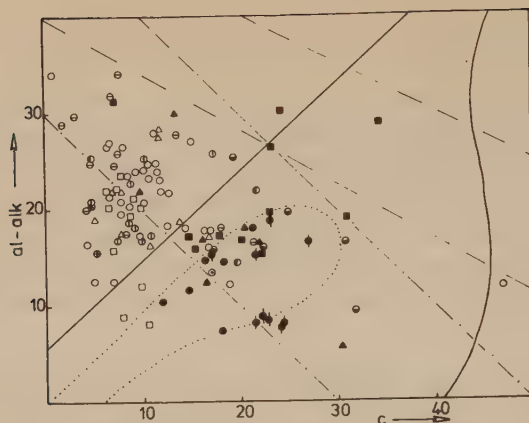


Abb. 14: Variationsdiagramm (al-alk)-c (NIGGLI, 1952)

Hornblendit (●), Amphibolit (●), Hornblende-Biotit-schiefer (●), Hornblende-Chloritschiefer (▲), Hornblende-Plagioklasgneis (■), Epidot-Knollengneis (⊙), Zweiglimmergneis (□), Muskowit-Knollengneis (⊕), Muskowit-Biotitschiefer (⊖), Biotit-Muskowitschiefer (⊗), Graphitschiefer I und II (○), saure Einschaltungen in die Graphitschiefer III (Δ).

durchgezogene Linie: Bereich magmatischer Gesteine, punktierte Linie: Bereich der Dolerite (WALKER & POLDER-VAART, 1949)

strichpunktiert: triassische, dolomitische Schiefer gestrichelte Linie: Bündner Schiefer (NIGGLI, 1952).

Die Hornblende Garbenschiefer stimmen zum Teil mit den Amphiboliten überein, zeigen aber auch, ebenso wie die Hornblende-Biotitschiefer, eine beträchtliche Schwankungsbreite. Eine Beteiligung von sedimentärem Material wäre hier denkbar.

Im folgenden sollen die einzelnen Gesteinstypen der Greiner Serie auf ihr mutmaßliches Ausgangsgestein näher analysiert werden.

4.4.1. Hornblendeführende Gesteine

Die in dieser Gruppe zusammengefaßten Gesteinstypen sind in dem Konzentrationsdreieck 100 mg-c-(al-alk) nach LEAKE (1964) dargestellt (Abb. 15). Daraus ist zu ersehen, daß Hornblendite und Amphibolite mit nur geringer Abweichung dem magmatischen Trend folgen. Dagegen ist bei den Hornblende-Garbenschiefern

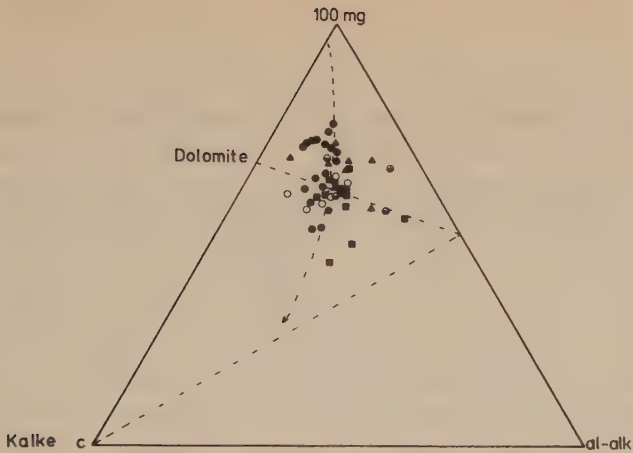


Abb. 15: Konzentrationsdreieck 100 mg-c-(al-alk) nach LEAKE (1964)
 Hornblendit (●), Amphibolit (●), Hornblende-Biotit-
 schiefer (⊙), Garbenschiefer {Hornblende-Choritschiefer
 (▲) und Hornblende-Plagioklasgneis (■)}, Epidot-Knollen-
 gneis (○).

eine eindeutige Zuordnung nicht möglich. Sie zeigen vielmehr - entsprechend ihrem wechselnden Chemismus - eine starke Streuung, aus der man auf die Beteiligung einer kalkigen bzw. dolomitischen Komponente schließen könnte. Diese Frage soll im folgenden noch diskutiert werden.

Eine ähnliche Problemstellung ergibt sich aus der Projektion der Epidot-Knollengneise, deren Lage dem magmatischen Trend entgegengesetzt verläuft und für die Hornblende-Biotitschiefer.

Grundsätzlich stellt sich bei der Anwendung des Konzentrationsdreiecks 100mg - c (al-alk) auf komplex zusammengesetzte und genetisch nicht eindeutig einordbare Metamorphite die Frage nach der Aussagekraft dieser Darstellung, da sich in einem verhältnismäßig engen Bereich die unterschiedlichsten Trends überlagern und dadurch zu einer falschen Deutung führen können. Diese Problematik der Festlegung und gegenseitigen Abgrenzung von sedimentären und magmatischen Trends, wird auch an dem Versuch von ROBINSON & LEAKE (1975) deutlich, dies mit Hilfe von AFM-Diagrammen lösen zu wollen.

Einen weiteren Hinweis auf den Orthocharakter der hornblende-führenden Gesteine geben Korrelationen von Elementen, die in

basischen Effusiva ein definiertes Korrelationsverhalten aufweisen. Sie sind in Tab. 10 durch ihre Korrelationskoeffizienten dargestellt. Als Bezugsgrößen dienen die r-Werte für Tholeiitbasalte (NOCKOLDS & ALLEN, 1956 und PRINZ, 1967). Die Koeffizienten der Amphibolite wurden nach Analysen von WEBER-DIEFENBACH (1976) berechnet.

	1	2	3	4	5	6
Cr/Ni	0,982 ⁺	0,826 ⁺	-0,152 ⁺	0,803 ⁺	0,724 ⁺	0,846 ⁺
Cr/TiO ₂	-0,601 ⁺	-0,244	-0,624 ⁺	-0,370	-0,217	-0,038
Ni/TiO ₂	-0,181 ⁺	-0,248	-0,219	0,023	-0,503 ⁺	-0,192
TiO ₂ /Zr	0,208 ⁺	0,106	--	0,324	0,532	--
Cr/mg	--	--	0,547 ⁺	0,727	-0,021	0,748 ⁺
Ni/mg	--	--	0,110	0,852 ⁺	0,136	0,632 ⁺

Tab. 10: 1 = Tholeiit, 2 = Amphibolit, 3 = Hornblendit, 4 = südlicher Amphibolit, 5 = Hornblende-Plagioklasgneis, 6 = Hornblende-Chloritschiefer

Die mit ⁺gekennzeichneten Werte können mit 95%-iger Wahrscheinlichkeit als statistisch gesichert gelten.

Obwohl infolge zu geringer Probenzahl nicht alle Werte statistisch gesichert sind, zeigt der Vergleich eine gute Übereinstimmung der Gesteine der Greiner-Schiefer-Serie mit den Trends für Tholeiitbasalte. Mit Ausnahme der Hornblendite folgen alle übrigen Gesteinstypen der für Orthogesteine typischen, positiven Korrelation der Spurenelemente Cr/Ni (TUREKIAN & CARR, 1960, TUREKIAN, 1963). Ähnliches ergibt sich aus der Gegenüberstellung der Koeffizienten für Cr/TiO₂ und Ni/TiO₂. Aufgrund stofflicher Inhomogenitäten sind die Korrelationen für den südlichen Amphibolit und die Hornblende-Chloritschiefer weniger ausgeprägt. Das Verhältnis TiO₂/Zr in den Amphiboliten, dem südlichen Amphibolit und den Hornblende-Plagioklasgneisen ist wiederum gut mit dem Basaltdurchschnitt vergleichbar. Das gilt auch für die Cr/mg- und Ni/mg-Werte, die eine für Orthogesteine erforderliche positive Korrelation zeigen (LEAKE, 1960). Aus allen diesen Daten geht hervor, daß für die hornblendeführenden Gesteine der

Greiner Serie ein orthogenes Ausgangsgestein basaltischer Zusammensetzung oder dessen vorherrschende Beteiligung angenommen werden kann.

Die Anwendung der Absolutgehalte von Cr und Ni zur genetischen Einstufung der Amphibolite im Sinne von FRÖHLICH (1960) und MILOWSKY (1964) erscheint nicht angebracht, da diese Elemente zu weit streuen (s.a. WEBER-DIEFENBACH, 1976). Auch wird die Festlegung definitiver Grenzwerte zur Unterscheidung von Ortho- und Paraamphiboliten durch die Tatsache erschwert, daß Cr und Ni in basischen Effusiva eine zu große Schwankungsbreite zeigen (0-550 ppm Cr und 0-350 ppm Cr nach PRINZ, 1967), wobei aber auch die Durchschnittsgehalte je nach Magmentyp stark variieren und zudem noch eine regionale Abhängigkeit zeigen. Ähnlich problematisch werden die für Paraamphibolite angegebenen geochemischen Kriterien angesehen (z.B. WALKER et al., 1960, VAN DE KAMP, 1968), da eindeutig nachgewiesene Paraamphibolite aus der Literatur nicht bekannt sind. Bei vielen als Paraamphiboliten eingestuften Amphiboliten dürfte es sich zudem um, durch Sedimentmaterial "verunreinigte" Orthoamphibolite handeln. Die alternative Fragestellung Ortho- oder Paraamphibolit erscheint auch aus diesem Grunde nicht sinnvoll.

Eine eindeutigere Aussage erlaubt dagegen der Vergleich des Hauptchemismus der Amphibolite mit dem Mittelwert für (kontinentale) Tholeiitbasalte (Tab. 11). Zusätzlich wurden die Rang-Korrelationskoeffizienten R^* berechnet (MARSAL, 1967), die die Abweichung der chemischen Zusammensetzung der Amphibolite von dem Mittelwert der Basalte durch eine einzige Zahl kennzeichnen (bei völliger Übereinstimmung ist $R^* = 1$).

	1	2	3	4	5
SiO ₂	51,5	51,1	53,8	52,1	50,5
TiO ₂	1,2	0,96	0,65	1,3	0,41
Al ₂ O ₃	16,3	16,3	14,4	14,9	10,1
Fe ₂ O ₃	11,6	10,9	10,9	11,3	10,2
MnO	0,17	0,19	0,17	0,19	0,19
MgO	5,9	6,9	9,3	4,8	16,9
CaO	9,8	8,9	7,5	10,2	11,3
Na ₂ O	2,5	3,4	1,0	1,5	0,46
K ₂ O	0,86	0,69	1,1	0,58	0,32
R*	--	0,995	0,956	0,941	0,707

Tab. 11: 1 = Mittelwert für Tholeiitbasalte (MANSON, 1967)
 2 = Amphibolite der Greiner-Schiefer-Serie (nach
 WEBER-DIEFENBACH, 1976), 3 = Amphibolite des Reisch-
 bergkars, 4 = südlicher Amphibolit, 5 = Hornblendit
 R^x=Rangkorrelationskoeffizient

Die beste Übereinstimmung mit den Basalten zeigt der Mittelwert der Amphibolite (2), die nach Probenzahl und beprobtem Gebiet als repräsentativ für die Greiner Serie angesehen werden können. Deutlicher ist die Abweichung bei den Amphiboliten des Reischbergkars (3), sowie dem südlichen Amphibolit (4). Der Grund dafür ist auf der einen Seite wohl in der geringen Probenanzahl zu suchen, auf der anderen Seite aber auch im primären Ausgangsgestein. Die enge Verknüpfung von Ortho- und Sedimentmaterial, wie sie in der Greiner-Schiefer-Serie zu beobachten ist, spiegelt sich damit im Chemismus der Amphibolite wieder. Nimmt man als Ortho-Komponente basische Tuffe an, so ist eine geringe Vermengung bei gleichzeitig(?) abgelagerten Sedimenten gut vorstellbar. Wesentlich höher ist der Sedimentanteil bei Hornblende-Biotitschiefern. Der ausgeprägte Lagenbau dieses Gesteinstyps wird als sandig-tonige Wechsellagerung mit basischen Tuffen gedeutet. Dafür spricht auch ihre Lage im Diagramm 100 mg-(al-alk)-c. (Abb. 15).

Die im großen und ganzen gute Übereinstimmung des südlichen Amphibolits mit den Analysen von WEBER-DIEFENBACH (1976) und dem Pauschalchemismus von Basalten weist darauf hin, daß die magmatische Entwicklung während der Bildung der Greiner-Schiefer-

dem Pauschalchemismus von Basalten weist darauf hin, daß die magmatische Entwicklung während der Bildung der Greiner-Schiefer-Serie keinen großen Veränderungen unterworfen war.

Als Ausgangsgesteins von H o r n b l e n d e - G a r b e n - s c h i e f e r n werden im allgemeinen mergelige Gesteine angenommen (z.B. NIGGLI, 1929). Um diese Annahme zu überprüfen, wurden die Hornblende-Chloritschiefer und die Hornblende-Plagioklasgneise noch einmal im Variationsdiagramm (al-alk)-c dargestellt (Abb. 16). Zusätzlich wurden die Bereiche für pelitische Gesteine (VAN DE KAMP, 1968) und für Mergel (KURZWEIL, 1973) eingetragen.

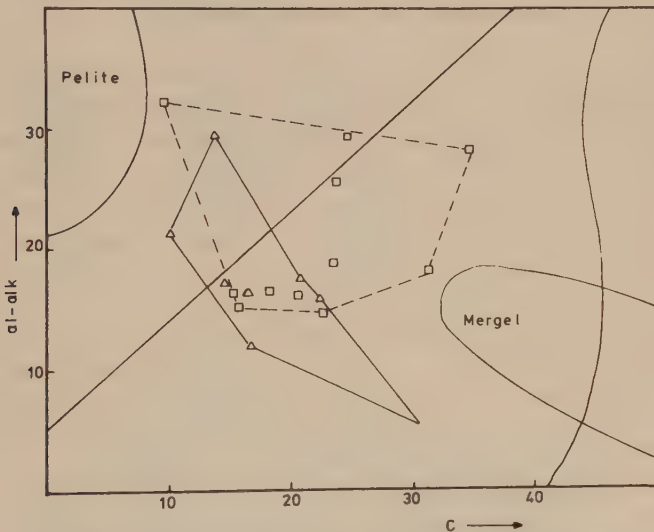


Abb. 16: Variationsdiagramm (al-alk)-c
Hornblende-Chloritschiefer (Δ), Hornblende-Plagioklasgneis ($\square$).

Eingetragen sind ferner die Bereiche für pelitische Sedimente (VAN DE KAMP, 1968) und Mergel (KURZWEIL, 1973).

Obwohl der größte Teil der Garbenschiefer zusammen mit den Amphiboliten eindeutig in das Orthofeld (s. Abb. 14) zu liegen kommt, zeigen beide Gesteinstypen eine große Variationsbreite

in ihrem Chemismus. Der Grund ist wohl in der Durchmischung mit Sedimentmaterial zu suchen. Dies wird besonders bei den Hornblende-Chloritschiefern deutlich, deren Trend entgegengesetzt dem magmatischen Trend verläuft. Der größte Teil der Hornblende-Plagioklasgneise befindet sich im Orthofeld. Keiner der beiden Gesteinstypen läßt eine Verwandtschaft mit Mergeln erkennen. Zusammen mit basischen Tuffen hätte dies zu wesentlich höheren c-Werten führen müssen. Auf der anderen Seite sind die teilweise sehr hohen Al_2O_3 -Gehalte bemerkenswert. Als Ausgangsmaterial der Hornblende-Chloritschiefer wird demnach eine Mischung aus basischen Tuffen mit Peliten (Hornblende-Chloritschiefer) oder einer mehr klastischen, tonig-sandigen Komponente (Hornblende-Plagioklasgneis) angenommen.

Die schon auf Seite 23 angedeutete Verschiebung des Chemismus der Hornblende-Plagioklasgneise zu mehr alkalibetonteren und saureren Gesteinen, läßt sich damit zwanglos als Zunahme des Sedimentanteils in Richtung Süden deuten. Dies dokumentiert sich auch im Spurencemismus durch eine Abnahme der Cr- und Ni-Gehalte, sowie in einer Zunahme der Zr-Werte (detritischer Zirkon?).

Problematischer ist die genetische Einordnung der Epidot-Knollengneise, die von KLEBELSBERG (1935) sowohl als Orthogneise als auch als Paragneise gedeutet werden.

Bei der Deutung der geochemischen Daten ist zu bedenken, daß bei der tektonischen Beanspruchung möglicherweise Wegsamkeiten für zirkulierende Lösungen geschaffen wurden und damit die Bildung des Epidots ermöglicht wurde. Somit entspräche der vorliegende Chemismus nicht mehr dem primären Ausgangsgestein und der Trend zu calciumreicheren Gesteinen ließe sich erklären (s.a. Abb. 15). Damit wären möglicherweise auch die außerordentlich hohen Sr-Gehalte deutbar, die in dieser Höhe für die Gesteine der Greiner Serie ungewöhnlich sind.

4.4.2. Hornblendefreie Gesteine

Bei der Darstellung des Chemismus der hornblendefreien Gesteine (Kap. 4.3.), erwies sich zur gegenseitigen Abgrenzung der einzelnen Gesteinstypen das Verhältnis der Alkalien $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ als brauchbar (Abb. 7 u. Abb. 12).

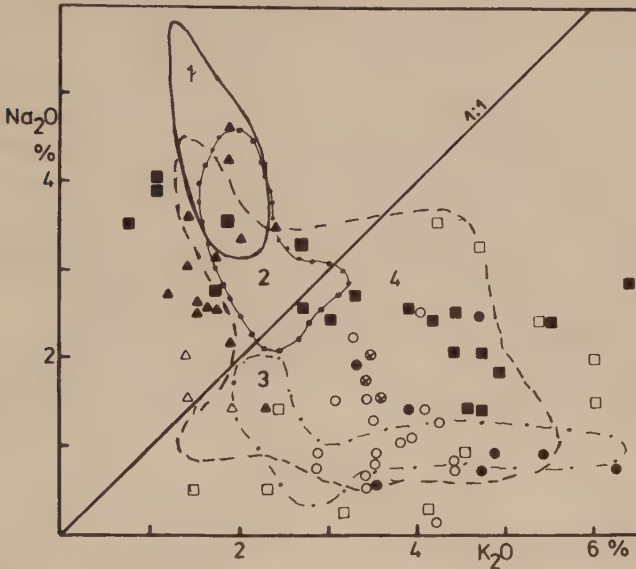


Abb. 17: Variationsdiagramm $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$

1 = Bereich der Zweiglimmergneise, 2 = Muskowit-Biotitschiefer, 4 = granatführende Graphitschiefer Typ I-III, 3 = Biotit-Muskowitschiefer.

Vergleichsanalysen aus der Literatur:

Pelitic and semipelitic rocks nach BROWN (1967) = ■

Pelitic gneisses (CHINNER, 1960) = □

Tonschiefer nach LOESCHKE & WEBER (1973) = ⊗

Subgraywackes (△) and Graywackes (▲) nach PETTIJOHN (1963)

Pelites from Connemara (LEAKE, 1958) = ●

Metapelite nach SHAW (1954, 1956) = ○

Da dieses Verhältnis auch zur genetischen Gliederung von Sedimenten gültig ist (Grauwacken Na_2O -Vormacht, pelitische Sedimente K_2O -Vormacht, PETTIJOHN, 1965 u. 1973), bietet sich

das Variationsdiagramm $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ auch zu einem ersten Überblick über die genetische Stellung der hornblendefreien Gesteine der Greiner-Schiefer-Serie an (Abb. 17). Um einen objektiven Vergleich zu ermöglichen, wurden zusätzlich die Werte für Pelite, Semipelite, Grauwacken und Subgrauwacken eingetragen. Die Grauwacken liegen in einem verhältnismäßig engen Bereich, deutlich von den tonigen Sedimenten abgegrenzt (Ausnahme: Semipelite!). Mit ihnen sind die Zweiglimmergneise, die Muskowit-Knollengneise und die sauren Einschaltungen in den Graphitschiefern (sie liegen in dem Bereich von Feld 4, der in die natronreiche Seite hinüberreicht) zu vergleichen. Bei den K_2O -betonten Sedimenten wird an ihrer großen Streubreite der Einfluß von Verwitterung und Transport erkennbar. In diesen Bereich gehören die Graphitschiefer I und II, sowie die natronarmen Biotit-Muskowitschiefer.

Diese gute Verwendbarkeit des $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ -Verhältnisses zur Klassifizierung von Sedimenten bestätigt sich auch in der Dreiecksdarstellung Si-Al-Fe (Abb. 19a u. 19b), welches eine wesentlich bessere Differenzierung ermöglicht.

Danach lassen sich die hornblendefreien Gesteine der Greiner Serie durch die unterschiedlichen Si-Gehalte gliedern, während das Verhältnis Al/Fe nur in geringen Grenzen schwankt. Damit ergibt sich eine kontinuierliche Abfolge, die mit den sauren Einschaltungen in den Graphitschiefern, als den Si-reichsten Gesteinen, beginnt. Es folgen Muskowit-Knollengneis und die Zweiglimmergneise. Einen größeren Bereich überdecken wiederum die Graphitschiefer, die auch in ihrem Al/Fe-Verhältnis eine größere Variationsbreite einnehmen. Deutlich tritt der Unterschied zwischen den tonerreicheren Biotit-Muskowitschiefern und den Muskowit-Biotitschiefern hervor.

Der Vergleich mit verschiedenen Durchschnittswerten aus der Literatur, zusammen mit der Darstellung nach MOORE & DENNEN (1970), ergibt, daß sich die hornblendefreien Gesteine der Greiner-Schiefer-Serie überwiegend klastischen Gesteinen (Subgrauwacken, Grauwacken, Semipeliten und Peliten) zuordnen lassen. Sedimente mit einem hohen Tonmineralanteil, wie sie z.B. die Pelite von Connemara (LEAKE, 1958) repräsentieren, sind daran nicht beteiligt.

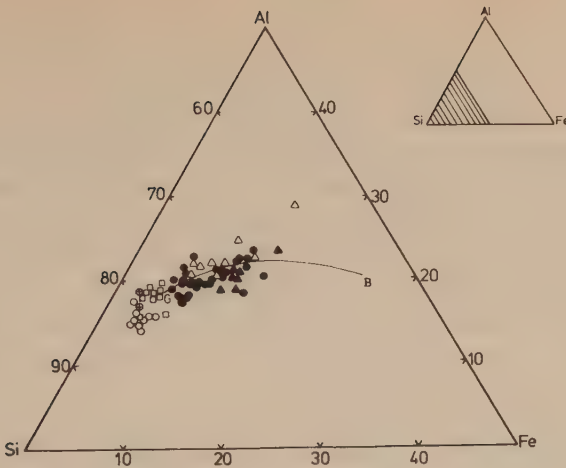


Abb. 18a: Konzentrationsdreieck Si-Al-Fe

saure Einschaltungen in den Graphitschiefern (○), Muskowit-Knollengneis (⊕), Zweiglimmergneis (□), Graphitschiefer I u. II (●), Muskowit-Biotitschiefer (▲), Biotit-Muskowitschiefer (△).

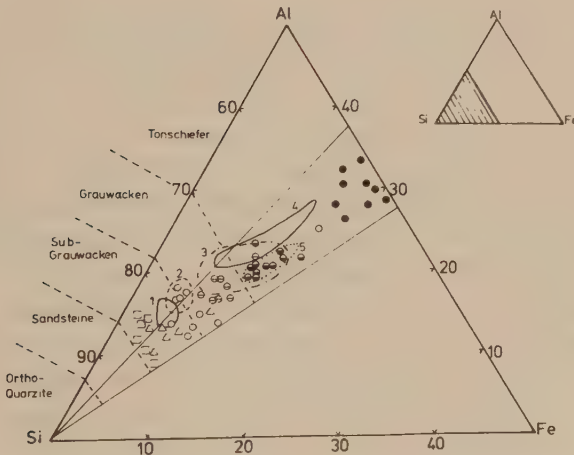


Abb. 18b: Konzentrationsdreieck Si-Al-Fe in der Darstellung von MOORE & DENNEN (1970)

1 = Bereich der sauren Einschaltungen in den Graphitschiefern, 2 = Zweiglimmergneis und Muskowit-Knollengneis, 3 = Graphitschiefer, 4 = Biotit-Muskowitschiefer, 4 = Biotit-Muskowitschiefer.

Tonschiefer nach HOVORKA (1975) = ●, Grauwacken (⊕) und Subgrauwacken (□) nach PETTIJOHN (1973), Arkosen (△) und Grauwacken (○) nach PETTIJOHN (1957), Pelites from Connemara (●) nach LEAKE (1958).

4.4.2.1. Gesteine mit Na_2O -Vormacht

Natriumreiche Gneise und Schiefer, die in der Greiner-Schiefer-Serie durch die Zweiglimmergneise, Muskowit-Knollengneise, die sauren Einschaltungen in den Graphitschiefern und durch die Muskowit-Biotitschiefer vertreten werden, stellen in der Literatur ein vielskutiertes Problem dar (CHESWORTH, 1970, PETTIJOHN, 1958, COOMBS, 1965). Dabei werden hinsichtlich der Herkunft des Natriums die unterschiedlichsten Meinungen vorgebracht, wie z.B. eine metasomatische Zufuhr oder eine primär sedimentäre oder magmatische Herkunft.

Gegen eine metasomatische Zufuhr spricht die Einförmigkeit in Chemismus und Mineralparagenese z.B. der Zweiglimmergneise, aber auch die Tatsache, daß sich das $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ -Verhältnis der sauren Einschaltungen in den Graphitschiefern deutlich von dem Nebengestein unterscheidet.

Für die sedimentäre Abstammung der natronreichen Gneise werden häufig Grauwacken als Ausgangsgestein angegeben, die sich von allen anderen Sedimenten durch ihren Na_2O -Überschuß unterscheiden. Für die Herkunft des Natriums wird im allgemeinen vulkanischer Detritus aber auch metasomatische Zufuhr ("Albitisation") angenommen (PETTIJOHN, POTTER & SIEVER, 1973). In den Übersichtsdarstellungen Abb. 17 u. Abb. 18b kam die gute Übereinstimmung der hornblendefreien Gesteine mit Natronvormacht mit Grauwacken und Subgrauwackem bereits zum Ausdruck. Ein Vergleich (Tab. 12) mit dem Pauschalchemismus von Grauwacken läßt jedoch noch deutliche Unterschiede erkennen, die sich vor allem in den SiO_2 -Gehalten ausdrücken. Berücksichtigt man aber die Schwankungsbreite der Siliziumwerte in den Grauwacken, so ist ein Vergleich mit dem Chemismus von Grauwacken durchaus gerechtfertigt.

Eine Deutung der siliziumreichen Gesteinstypen als saure Metavulkanite oder Meta granite erscheint aufgrund der hohen Na_2O -Gehalte nicht angebracht. Dafür spricht auch das Auftreten von

	$\bar{x}$	
SiO ₂	68,9	60,5 - 76,8
TiO ₂	0,56	0,15- 0,87
Al ₂ O ₃	13,1	11,4 - 16,9
Fe ₂ O ₃	5,2	3,4 - 9,2
MnO	0,11	0,04- 0,18
MgO	2,1	1,2 - 3,5
CaO	2,0	0,70- 5,6
Na ₂ O	3,2	1,6 - 4,9
K ₂ O	1,8	1,2 - 2,7

Tab. 12: Mittelwert und Schwankungsbreite von 10 Grauwacken-Durchschnittswerten (nach PETTIJOHN, POTTER & SIEVER, 1973)

Korund in der Norm. Dies wird allgemein als ein Hinweis auf die bei dem Verwitterungsprozeß vorsichgehende Anreicherung von Al₂O₃ gegenüber Na₂O und K₂O angesehen und ist damit ein weiteres Argument für eine sedimentäre Entstehung (CHESWORTH, 1970).

Arkosen sind ebenfalls als Ausgangsmaterial auszuschließen, da sie in ihrem Chemismus durch K₂O-Überschuß charakterisiert sind, sowie durch die Vorherrschaft von MgO über CaO (PETTIJOHN, 1963).

Aus allen diesen Gründen scheint es hinreichend bewiesen - soweit dies bei metamorphen Gesteinen möglich ist - die Zweiglimmergneise, Knollen-Muskowitgneise und die Einschaltungen in den Graphitschiefern als Metagrauwacken zu deuten. Trotz dieser Gemeinsamkeit im Ausgangsmaterial ist jedoch zu beachten, daß es im Hauptchemismus dieser frei Gesteinstypen deutliche Unterschiede gibt. Dies könnte ein Hinweis auf unterschiedliche Liefergebiete der Grauwacken sein. Diese Annahme wird unterstützt durch im Spurencemismus erkennbare Differenzierung. Hier sind vor allem die Rb-, Sr- und Cr-Gehalte zu nennen.

Das beste Beispiel gibt das Ti/Zr-Verhältnis (Abb. 20), das eine eindeutige Abgrenzung der hier besprochenen Gesteinstypen ermöglicht. Die Zweiglimmergneise bestätigen ihre insgesamt homogene Zusammensetzung durch eine nur geringe Variationsbreite.

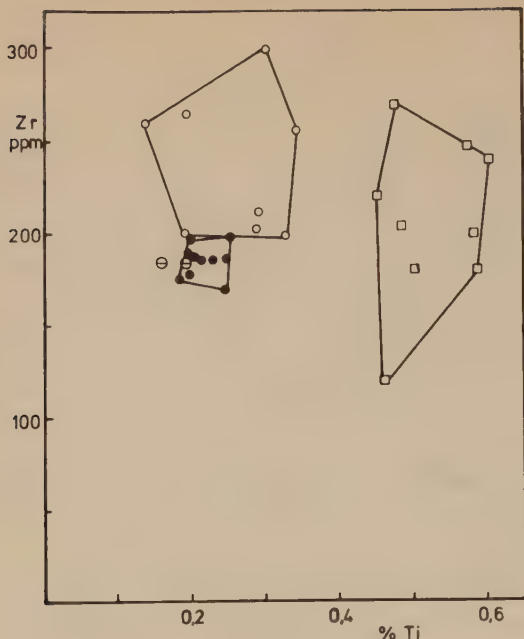


Abb. 19: Variationsdiagramm Ti/Zr

Zweiglimmergneis (●), Knollen-Muskowitgneis (○), Muskowit-Biotitschiefer (□), saure Einschaltungen in den Graphitschiefern (○).

Die Einschaltungen in den Graphitschiefern zeichnen sich durch eine große Streuung aus und sind dabei auch von den Zweiglimmergneisen deutlich abgegrenzt. Dies gilt auch für die Muskowit-Biotitschiefer, die jedoch durch höhere Ti-Gehalte charakterisiert sind. Aufgrund der höheren K_2O -, Al_2O_3 -, Fe_2O_3 - und MgO -Gehalte, scheint bei ihnen der Anteil an toniger Komponente höher zu sein. Im Sinne von SHAW (1954) sind sie daher als Semipelite einzustufen.

Da Grauwacken wegen ihrer kurzen Transportwege verhältnismäßig wenig aufgearbeiteten Verwitterungsschutt mit sich führen, wird dadurch ihr Chemismus auch wesentlich mitbeeinflusst (Na_2O -Gehalte!). Für das Liefergebiet der Zweiglimmergneise, Muskowit-Knollengneise und der sauren Einschaltungen in den Graphitschiefern wären demnach saure bis intermediäre Magmatite (Granodiorite-Quarzdiorite) denkbar.

4.4.2.2. Gesteine mit K_2O -Vormacht

Die granatführenden Graphitschiefer, sowie die Biotit-Muskowitschiefer sind in die Gruppe der pelitischen Sedimente einzustufen (Abb. 17 u. 18b). In dem Überschuß von K_2O gegenüber Na_2O kommt der vermehrte Einfluß der Verwitterung, bedingt durch längere Transportwege, zum Ausdruck. Dieses zeigt sich auch in der Zunahme von Al_2O_3 gegen Na_2O und K_2O gegenüber Na_2O (Abb. 21). Aus dieser Darstellung wird auch die variable Zusammensetzung der Graphitschiefer deutlich, die von reinen Tonschiefern bis zu Grauwacken führt.

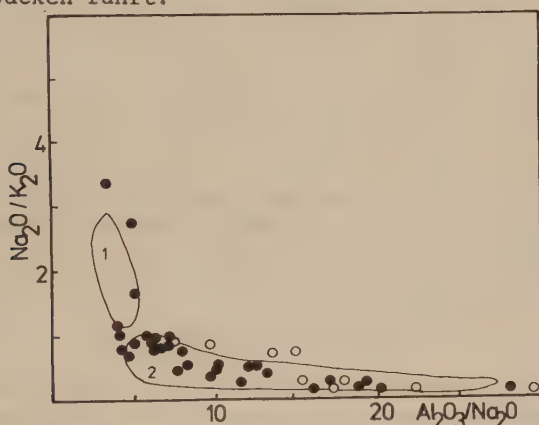


Abb. 20: Variationsdiagramm Al_2O_3/Na_2O gegen Na_2O/K_2O
 granatführende Graphitschiefer (●), Biotit-Muskowitschiefer (○). 1 = Bereich für Grauwacken, 2 = Bereich für Tonschiefer und Pelite.

Eine weiterführende Interpretation der geochemischen Daten ermöglicht der Vergleich von Peliten (SHAW, 1954 u. 1956) und Tonschiefern (TUREKIAN & WEDEPOHL, 1960). Der Normaltyp der Graphitschiefer I stimmt bis auf die höheren SiO_2 -Gehalte sehr gut mit den Peliten und Tonschiefern überein. Daraus ist zu schließen, daß diese höheren Siliziumwerte ausschließlich in einem höheren Anteil an freiem Quarz begründet sind. Der in Kap. 4.3. ausgeschiedene zweite Typ der Graphitschiefer (II) unterscheidet sich von dem Pelit- und Tonschiefermittel durch ein wesentlich höheres K_2O/Na_2O -Verhältnis, aber auch durch höhere MgO -, CaO -,

TiO₂- und Cr-Gehalte. Dies könnte als Hinweis auf ein Liefergebiet basischer Zusammensetzung gewertet werden (NAQUI & HUSSAIN, 1972). Dafür spricht auch die Annäherung an den magmatischen Trend (Abb. 18a).

	1	2	3	4	5
SiO ₂	59,6	58,4	65,9	57,8	61,4
TiO ₂	0,85	0,77	0,70	0,95	0,89
Al ₂ O ₃	16,6	15,1	16,5	15,6	17,2
Fe ₂ O ₃	5,9	6,7	5,7	6,7	6,7
MnO	--	0,10	0,10	0,11	0,11
MgO	2,6	2,5	2,9	5,6	3,9
CaO	2,2	3,1	2,4	6,7	2,9
Na ₂ O	1,7	1,3	2,4	0,91	1,2
K ₂ O	3,5	2,5	3,1	4,4	3,3

Tab. 13: Durchschnittlicher Hauptchemismus von Peliten (SHAW, 1954 u. 1956) = 1, Tonschiefermittel nach TUREKIAN & WEDEPOHL (1960) = 2
granatführende Graphitschiefer I = 3 und II = 4,
Biotit-Muskowitschiefer = 5.

Berücksichtigt man die Erscheinungsform der Graphitschiefer im Gelände ("gebänderte Zweiglimmerschiefer" nach PROSSER, 1972) und die mikroskopischen Befunde (Lagenbau), so ergibt sich insgesamt das Bild eines "Mischgesteins", das durch den Wechsel von tonigen und sandigen Lagen gekennzeichnet ist. Sedimente dieser Zusammensetzung dürften am Aufbau der Graphitschiefer überwiegen. In dieses Bild einer aus überwiegend klastischen Sedimenten aufgebauten Serie, fügen sich auch die als Metagrauwacken gedeuteten sauren Einschaltungen (Kap. 4.4.2.1.) ein.

Die für diese Graphitschiefer typische Graphitführung deutet auf ein reduzierendes Milieu hin. Dagegen sprechen jedoch die Mangangehalte, die als Indikator für das Ablagerungsmilieu angesehen werden können (CARVAJAL & LANDERGREEN, 1969). Danach ist eine Oxydation von Mn²⁺ zu MnO⁴⁺ und damit eine Ausfällung nur bei pH-Werten ab pH 8 möglich. Somit sollten bei reduzierenden Bedingungen nur geringe Mn-Gehalte zu erwarten sein (BORCHERT, 1969). VINE & TOUTELOT (1970) geben z.B. für nordamerikanische

Schwarzschiefer durchschnittlich 0,015% MnO an. Dies steht im Gegensatz zu den wesentlich höheren Werten in den Graphitschiefern (durchschnittlich 0,10% MnO), die möglicherweise in einem oszillierendem Wechsel von oxydierendem und reduzierendem Milieu sedimentiert wurden.

Als Sedimentationsraum ist ein Wechsel zwischen einem küstennahen und einem küstenferneren Bereich anzunehmen. Dies läßt sich damit begründen, daß mit abnehmender Korngröße (längerer Transportweg!) der Quarzanteil eines Sedimentes und damit auch der SiO_2 -Gehalt abnimmt, während der Anteil der Tonmineralien zunimmt (FÜCHTBAUER, 1970 und GROUT, 1925).

Da sich die Graphitschiefer durch ihren Stoffbestand (s.a. Abb. 18a) und den vermuteten Ablagerungsraum von den übrigen bunten Serien der greiner Schiefer Serie grundlegend unterscheiden, könnte dies ein Hinweis auf ein anderes Alter (altpaläozoisch?) dieser Serie sein. Diese Frage läßt sich zwar im Rahmen dieser Untersuchungen nicht lösen, die dargelegten geochemischen Kriterien der Greiner Serie können aber Hilfsmittel zu einer weiteren altersmäßigen Aufgliederung sein.

5. Schlußfolgerungen

Die Gesteine der Greiner-Schiefer-Serie lassen sich anhand geochemischer und petrographischer Kriterien in zwei Hauptgruppen einteilen.

Für die erste, meist basische Gruppe ist Hornblende ein gemeinsames Kennzeichen (Hornblendit, Amphibolit, Hornblende-Garbenschiefer, Hornblende-Biotitschiefer). Die zweite große Gruppe bilden intermediäre-saure, meist hornblendefreie Gesteine (Zweiglimmergneis, Biotit-Muskowitschiefer, Muskowit-Biotitschiefer, granatführende Graphitschiefer und Knollengneis). Endglieder dieser beiden Gruppen sind die sehr basischen Hornblendite und die extrem sauren Einschaltungen in den Graphitschiefern.

Alle Gesteinstypen lassen sich aufgrund spezifischer geochemischer Merkmale im Haupt- und Spurenchemismus charakterisieren und unterscheiden. Eine detaillierte Aufgliederung, vor allem der hornblendefreien Gesteine, ermöglicht das Verhältnis $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$.

Nach dem Vergleich mit typischen Magmatit- und Sedimenttrends lassen sich die Gesteine der Greiner Serie drei genetisch verschiedenen Gruppen zuordnen:

Als **O r t h o g e s t e i n e** werden die Hornblendite und Amphibolite gedeutet. Die Hornblendite werden als ehemalige ultramafische Lagen oder Ergüsse angesehen. Dabei ist eine Verwandtschaft mit den in der Greiner Serie auftretenden Ultramafitkörpern (Serpentinite) zu vermuten. Bei den Amphiboliten sind (tholeiitische) Basalte oder deren Tuffe als Ausgangsgestein anzunehmen, obwohl diese genetische Einstufung nicht immer eindeutig aus den geochemischen Daten hervorgeht. Eine Durchmischung mit Sedimentmaterial kann daher nicht ganz ausgeschlossen werden.

Zu den **g e m i s c h t p a r a g e n - o r t h o g e n e n G e s t e i n e n** gehören die Hornblende-Biotitschiefer, die einer Wechsellagerung von Tuffen und Peliten-Semipeliten entsprechen,

sowie die Hornblende-Garbenschiefer. Eine anfangs vermutete Bildung der Garbenschiefer aus mergeligen Sedimenten konnte nicht nachgewiesen werden, obwohl deren Beteiligung auch nicht völlig ausgeschlossen werden kann. Als Ausgangsmaterial ist eine Mischung aus Tuffen und pelitischem Material (Hornblende-Chloritschiefer) oder aber auch von Tuffen und einer mehr sandigen, klastischen Komponente (Hornblende-Plagioklasgneis) anzunehmen.

Als reine *Paragesteine* wurden folgende Gesteinstypen eingeordnet: Zweiglimmergneis, Muskowit-Biotitschiefer, Biotit-Muskowitschiefer, Muskowit-Knollengneis und granatführende Graphitschiefer. Die genannten Gesteine überdecken einen Bereich, der von Subgrauwacken bis zu den Tonschiefern reicht und sind im einzelnen folgendermaßen einzuordnen:

Die sauren Einschaltungen in den Graphitschiefern, die Zweiglimmergneise und der Muskowit-Knollengneis sind in ihrem Chemismus mit siliziumreichen Grauwacken (Subgrauwacken) gut vergleichbar. Als Liefergestein sind saure bis intermediäre Plutonite (Granodiorite-Quarzdiorite) in Betracht zu ziehen. Eine Mittelstellung nehmen die Graphitschiefer ein, die zum Teil noch Grauwacken, hauptsächlich aber bituminösen Tonschiefern zugeordnet werden können. Im ganzen gesehen stellen sie einen "Mischtyp" dar, der durch eine intensive Wechsellagerung von tonigem und klastischem Material gekennzeichnet ist.

Als Semipelite werden die Muskowit-Biotitschiefer eingeordnet, während die Biotit-Muskowitschiefer reine Tonschiefer darstellen.

Die Greiner-Schiefer-Serie stellt somit eine gemischte vulkanosedimentäre Abfolge dar, an deren Bildung karbonatische Sedimente so gut wie nicht beteiligt gewesen sind.

In ihrer Stoffentwicklung ist durch eine stetige Zunahme von Silizium, Aluminium, Natrium und Kalium in Richtung Süden, sowie durch die Abnahme von Magnesium und Eisen ein deutlicher Trend von N nach S erkennbar. Dies ist gleichbedeutend mit einem Rückgang des Anteils basaltischer Beimengungen.

Die bunte, wechselvolle Abfolge und die gegenseitige intensive Verzahnung der einzelnen Gesteinsglieder läßt auf Sedimentationsbedingungen schließen, die durch tektonische Bewegungen vielfach gestört wurden. Das Überwiegen von klastischen Sedimenten deutet auf eine Kontinentalrand- nahe Bildung hin.

Diese Ergebnisse fügen sich in das von LAMMERER et al. (1976) vorgeschlagene Modell, die Greiner Schiefer Serie als die autochthone Trogfüllung zwischen den Zentralgneisschollen zu deuten, gut ein.

Literatur

- ACKERMAND, D. & MORTEANI, G. (1973): Occurrence and breakdown of Paragonite and Margarite in the Greiner Schiefer Series (Zillertaler Alps, Tyrol). - Contr. Miner. Petrol., 40, 293 - 304.
- BAGGIO, P. & DE VECCHI, P. D. (1969): L'inesisterza degli "Scisti del Greiner" in Val di Senges (Alto Adige, Ricerche geologico-petrografico). - Mem. Museo. Trid. Sc. Nat. Vol. XVIII, Fas. 2, Trento.
- BESANG, C. et al. (1968): Radiometrische Altersbestimmungen (Rb/Sr und K/Ar) an Gesteinen des Vendiger Gebietes (Hohe Tauern, Österreich). - Geol. Jb., 86, 835-844.
- BORCHERT, H. (1969): Zur Lagerstättenkunde und Geochemie des Mangans in: Manganerzlagerstätten und ihre wirtschaftliche Bedeutung. - Schriften der Gesellschaft Deutscher Metallhütten- und Bergleute e.V., 41 - 53.
- BROWN, P. E. (1967): Major element composition of the Loch Coire Migmatite complex, Sutherland, Scotland. - Contr. Miner. Petrol., 14, 1-26.
- CARVAJAL, M. C. & LANDERGREN, S. (1969): Marine sedimentation processes. The interrelationships of manganese, cobalt and nickel. - Stockholm Univ. Contributions in Geol., 18, 99 - 122.
- CHESWORTH, W. (1970): A chemical study of sodium-rich gneisses from Glamorgan Township, Ontario (Canada). - Chem. Geol., 6, 297 - 303.
- CHINNER, G. A. (1960): Pelitic gneisses with varying ferrous/ferric ratios from Glen Clova, Angus (Scotland). - J. Petrol. Vol. 1, Part 2, 178-217.
- CHRISTA, E. (1931): Das Gebiet des Oberen Zemmgrundes in den Zillertaler Alpen. - Jb. d. Geol. B.-A. Wien, 81 3/4, 533 - 635.
- CHRISTA, E. (1934): Das Greiner - Schwarzensteingebiet der Zillertaler Alpen in geologisch-petrographischer Betrachtung. - Universitätsverlag Wagner Innsbruck.
- COOMBS, D. S. (1965): Sedimentary analcime rocks and sodium-rich gneisses. - Mineral. Mag., 34, 144 - 158.
- DEER, W. A., HOWIE, R. A. & ZUSMANN, J. (1969): An introduction to the rock-forming minerals. - Longmans, Green & Co. LTD., London, 528 S.
- FRASL, G. & FRANK, W. (1966): Einführung in die Geologie und Petrographie des Penninikums im Tauernfenster. - Aufschluß, Sonderh., 15, 30 - 58.
- FRÖHLICH, F. (1960): Beitrag zur Geochemie des Chroms. - Geochim. Cosmochim. Acta, 20, 215 - 240.

- FÜCHTBAUER, H. & MÜLLER, G. (1970): Sedimente und Sedimentgesteine (Teil II). - Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 725 S.
- GROUT, F.F. (1925): Relation of texture and composition of clays. - Geol.Soc.Am.Bull., 36, 393 - 416.
- HAYDN, R. (1971): Tektonisch-geochemische Untersuchungen in der Greiner Schiefer Serie (Oberer Zemmgrund, Zillertal). - Unveröff.Dipl.Arb., Univ.München.
- HILLER, K. (1973): Geologisch-Photogrammetrische Untersuchung des Rossköpfe-Gebietes im Oberen Zemmgrund (Zillertal, Tirol). - Unveröff.Dipl.Arb., Univ.München.
- HOERNES, S. & FRIEDRICHSSEN, H. (1974): Sauerstoffisotopenuntersuchungen an metamorphen Gesteinen der westlichen Hohen Tauern, Österreich. - Schweiz.Mineral.Petr.Mitt., 54/2-3, 769 - 788.
- HOVORKA, D. (1975): The lithology and chemical composition of the metasediments of the Jarabá Group (West Carpathians). - Krystallinikum, 11, 87 - 101.
- KAMP, P.C. VAN DE (1968): Geochemistry and origin of metasediments in the Haliburton-Madoc area, southeastern Ontario. - Canad.J.of Earth Sc., 6, 1337-1372.
- KURZWEIL, H. (1973): Sedimentpetrologische Untersuchungen an den jungtertiären Tonmergelserien der Molassezone Ober-Österreichs. - Tscherms Min.Petr.Mitt., 20, 169 - 215.
- KLEBELSBERG, R. (1935): Geologie von Tirol. - Borntraeger - Berlin.
- LAMBERT, R.S. (1964): Absolute Altersbestimmungen an Gneisen aus dem Tauernfenster. - Verh.Geol.B.-A.Wien, 1, 16-27.
- LAMMERER, B. (1969): Geochemische Untersuchungen an Serpentiniten des Ochsner-Rotkopf-Massivs (Oberer Zemmgrund) und des Ahrntales (Südtirol). - Unveröff.Dipl.Arb.Univ.München.
- LAMMERER, B. (1972): Statistisch-Chemische Untersuchungen an Serpentiniten der Ostalpen und Ost-Elbas zur Klärung ihrer Genese und ihres Stoffhaushalts. - Diss. Univ. München.
- LAMMERER, et al. (1976): Geologische und geochemische Untersuchungen im Zentralgneis und der Greiner Schiefer Serie (Zillertaler Alpen, Tirol). - Geol.Rdsch., im Druck.
- LANGE, H. (1968): Spurenelemente als Hilfsmittel zur Unterscheidung von Ortho- und Paraamphiboliten. - Freiburger Forsch., C-231, Teil III, 251 - 259.
- LEAKE, B.E. (1958): Composition of pelites from Connemara, Co.Galway, Ireland. - Geol.Mag., 95, 281 - 296.
- LEAKE, B.E. (1960): The chemical distinction between Ortho- and Para-amphibolites. - J.Petrol., 5, 238 - 296.
- LEAKE, B.E. et al. (1969): The chemical analysis of rock powders by automatic X-ray fluorescence. - Chem.Geol., 5, 7 - 86.

- LOESCKE, J. & WEBER, K. (1973): Geochemie und Metamorphose paläozoischer Tuffe und Tonschiefer aus den Karawanken (Österreich). - N.Jb.Geol.Paläont.Abh., 142/1, 115-138.
- LODEMANN, C.K.W. (1970): Der Einsatz der Geochemie bei der Lösung geologischer Probleme im Metamorphikum. - Z.deutsch. Geol.Ges., 121, 151 - 161.
- MARSAL, D. (1967): Statistische Methoden für Erdwissenschaftler. - Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung - Stuttgart.
- MILOVSKY, A.V. (1964): Chrom, Vanadium und Nickel in Para- und Orthogesteinen. - Geochimija, 9, 893 - 898.
- MOORE, B.R. & DENNEN, W.H. (1970): A geochemical trend in silicon-aluminium - iron ratios and the classification of clastic sediments. - J.Sed.Petrol., 40, 1147 - 1152.
- MORTEANI, G. (1971): Gliederung und Metamorphose der Serien zwischen Stillup und Schlegeistal (Zillertaler Alpen, Nordtirol. - Verh. Geol. B.-A. Wien, H. 2, 287-314.
- MORTEANI, G. & RAASE, P. (1974): Metamorphic plagioclase crystallisation and zones of equal anorthite content in epidote-bearing, amphibolite-free rocks of western Tauernfenster (Eastern Alps). - Lithos, 7, 101-111.
- NAQVI, S.M. & HUSSAIN, S.M. (1972): Petrochemistry of some early Precambrian metasediments from the central part of the Chitaldrug schist belt, Mysore, India. - Chem. Geol., 10, 109-136.
- NIGGLI, P. (1929): Die chemisch-mineralogische Charakteristik der metamorphen Paragesteinsprovinz am Südrande des Gotthardmassivs. - Schweiz. Min. Petro. Mitt., 9, 160-187.
- NIGGLI, P. (1952): Gesteine und Minerallagerstätten, Bd.II, Verlag Birkhäuser, Basel.
- NOCKOLDS, S.R. & ALLEN, R. (1956): The geochemistry of some igneous rock series-III.- Geochim. Cosmochim. Acta, 9, 34-77.
- PETTIJOHN, F.J. (1957): Sedimentary rocks (2 st. Ed.), 718 S., (Harper and Bros.) New York.
- (1963): Chemical composition of sandstones - excluding carbonate and volcanic sands. In: Data of geochemistry. - U.S. Geol. Survey Prof. Paper 440S, 19 S.
- PETTIJOHN, F.J. & BASTRON, H. (1958): Chemical composition of argillite of the Cobalt Series (Precambrian) and the problem of soda-rich sediments. - Bull. geol. Soc. Amer., 70, 593-600.
- PETTIJOHN, F.J., POTTER, P.E. & SIEVER, R. (1973): Sand and Sandstones, 618 S., Springer Verlag.
- PRINZ, M. (1967): Geochemistry of basaltic rocks. In: HESS, H.H. & POLDERVAART, A.: Basalts, Vol.1, 478 S., John Wiley & Sons.
- PROSSER, E. (1972): Geologische Untersuchungen in der Greiner Schiefer Serie im Bereich des oberen Schlegeisgrundes (Zillertal, Tirol). - Unveröff. Dipl.-Arb., Univ. München.

- PURTSCHELLER, F., HOERNES, S. & BROWN, G.C. (1972): An example of occurrence and breakdown of paragonite. - Contr. Mineral. Petrol., 35, 34-42.
- RAITH, M. (1971): Seriengliederung und Metamorphose im östlichen Zillertaler Hauptkamm (Tirol, Österreich). - Verh. Geol. B.-A. Wien, 1, 163-207.
- ROBINSON, D. & LEAKE, B.E. (1975): Sedimentary and igneous trends on AFM-Diagrams. - Geol. Mag., 112, (3), 305-307.
- SANDER, B. (1911): Geologische Studien am Westende der Hohen Tauern (1. Bericht). - Denkschr. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturw. Kl., 82, 257-319.
- "- (1913a): Über den Stand der Aufnahmen am Tauernwestende. - Verh. d. k.k. geol. Reichsanstalt, Nr. 6
- SATIR, M. (1975): Die Entwicklungsgeschichte der westlichen Hohen Tauern und der südlichen Ötztalmasse aufgrund radio-metrischer Altersbestimmungen. - Memorie degli Istituti di Geologia e Mineralogia dell'Università di Padova, Vol. XXX, 82 S.
- SCHWARZENBERG, T. (1973): I. Geologische Untersuchungen am Pfitscher Joch (Zillertaler Alpen, Südtirol). II. Geochemische Bearbeitung der Furttschaglschiefer. - Unveröff. Dipl.-Arb. Univ. München.
- SHAW, D.M. (1954): Trace elements in pelitic rocks, Part I. Variation during metamorphism; Part II. Geochemical relations. - Bull. geol. Soc. Amer., 65, 1151-1182.
- "- (1956): Geochemistry of pelitic rocks, Part III. Major elements in a general geochemistry. - Bull. geol. Soc. Amer., 67, 919-934.
- TERMIER, P. (1903): Les nappes des alpes orientales et la synthèse des alpes. - Bull. geol. Soc. France, 4 Ser., 3, 711-766.
- TUREKIAN, K.K. (1963): The use of trace element geochemistry in solving geologic problems. In: Studies in analytical geochemistry. - The royal society of Canada, Spec. publ., No. 6, 3-21.
- TUREKIAN, K.K. & CARR, M.H. (1960): The geochemistry of Cr, Co, Ni. - Proc. XXI int. Geol. Congress (Norden), 1, 14-26.
- TUREKIAN, K.K. & KULP, J.L. (1956): The geochemistry of Sr. - Geochim. Cosmochim. Acta, 10, 245-296.
- TUREKIAN, K.K. & WEDEPOHL, K.H. (1960): Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. - Bull. geol. Soc. Amer., 72, 175-195.
- WALKER, F. & POLDERVAART, A. (1949): Karoo dolerites of the Union of South Africa. - Bull. geol. Soc. Amer., 60, 1059-1165.
- WALKER, K.R. et al. (1960): Metamorphic and metasomatic convergence of basic igneous rocks and lime-magnesia sediments of the Precambrian of North-Western Queensland. - J. Geol. Soc. Austr., 6, 149-177.

- WEBER-DIEFENBACH, K. (1976): Zur Geochemie und Metamorphose von Amphiboliten der Greiner Schiefer Serie (Zillertaler Alpen, Tirol). - *Tschermaks Min. Petr. Mitt.*, 23, 1-22.
- WINKLER, H.G.F. (1967): Die Genese der Metamorphen Gesteine (2.Aufl.) - 237 S., Springer Verlag.
- VINE, J.D. & TOUTELOT, E.B. (1970): Geochemistry of black shale deposits - a summary report. - *Economic Geology*, 65, 253-272.
- VLASOV, K.A. (1966): Geochemistry of rare elements. - Israel Program for Scientific translations, Jerusalem.

Tabellen-Anhang

Ho	-	Hornblendit
A	-	Amphibolit
HSch	-	Hornblende-Biotitschiefer
CSch	-	Chlorit-Hornblendeschiefer
HGn	-	Hornblende-Plagioklasgneis
EGn	-	Epidot-Knollengneis
MGn	-	Muskowit-Knollengneis
ZGn	-	Zweiglimmergneis
BGn	-	Biotitgneis
BSch	-	Boititschiefer
BMSch	-	Biotit-Muskowitschiefer
MBSch	-	Muskowit-Biotitschiefer
GSch	-	graphitische Granatschiefer
S	-	Serpentinit

Die Gewichtssummen der Analysen beziehen sich auf wasserfreies Gestein.

Die Werte für Eisen sind auf Gesamteisen bezogen.

Nr.	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C12	C15	C16	C17	C18
Typ	HSch	Ho	Ho	CSch	Ho	CSch	CSch	Ho	CSch	CSch	CSch	HGn	HGn
SiO ₂	65,2	48,4	52,8	55,3	50,9	46,5	45,3	50,3	38,2	46,8	49,8	49,2	52,8
TiO ₂	0,76	0,60	0,19	0,40	0,23	0,21	0,10	0,18	0,83	0,69	1,3	0,23	0,28
Al ₂ O ₃	17,4	13,1	8,5	22,1	7,7	17,3	6,6	15,8	21,5	11,9	17,3	16,7	19,5
Fe ₂ O ₃	5,6	15,3	10,0	8,0	9,4	7,9	10,4	7,9	15,4	12,9	11,1	9,1	8,2
MnO	0,05	0,21	0,25	0,13	0,16	0,21	0,21	0,1	0,15	0,14	0,16	0,15	0,12
MgO	4,4	11,4	17,5	4,9	20,0	14,4	20,8	12,8	16,0	17,4	11,2	12,7	7,8
CaO	1,4	9,5	10,9	4,4	12,5	10,3	17,4	12,5	4,9	7,8	5,7	10,4	8,7
Na ₂ O	2,2	0,24	0,30	2,5	0,29	0,54	0,30	0,98	0,35	0,16	2,1	0,38	0,67
K ₂ O	2,3	0,40	0,25	0,56	0,15	2,0	0,10	0,31	0,18	0,48	0,34	0,40	0,48
SUM	99,31	99,15	100,69	98,29	101,33	99,36	101,21	100,90	97,51	98,26	99,00	98,26	98,55
GV	2,6	3,0	0,73	2,3	3,1	4,8	18,7	2,2	6,1	3,0	2,8	2,8	2,1
ppm													
Rb	147	27	23	30	21	89	20	n.b.	n.b.	128	35	33	31
Sr	383	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	78	n.b.	70	n.b.	n.b.	358	320	89
Zr	221	n.b.	n.b.	77	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	225	50	n.b.
Cr	222	450	2000	290	870	466	850	960	478	950	480	342	106
Ni	42	124	450	94	246	84	446	108	250	282	120	100	158
Cu	10	12	6	12	195	55	10	15	174	9	3	3	3
Zn	83	51	53	31	41	35	37	74	45	50	53	30	48
Niggli													
si	249	102	103	162	92,0	91,9	73,2	102	70,8	90,7	113	101	133
al	39,2	16,4	9,8	38,4	8,2	20,1	6,3	19	23,5	13,6	23,3	20,7	29,0
fm	41,3	60,9	66,4	39,6	66,9	54,5	63,0	51,3	65,9	69,3	57,6	54,5	45,1
c	5,7	21,6	22,9	13,9	24,2	21,8	30,1	27,3	9,7	16,2	14,0	23,4	23,5
alk	13,8	1,0	0,98	8,2	0,68	3,5	0,57	2,3	0,84	0,89	5,2	1,3	2,4
k	0,41	0,52	0,35	0,13	0,25	0,71	0,18	0,17	0,25	0,66	0,10	0,41	0,32
mg	0,61	0,59	0,77	0,54	0,81	0,78	0,79	0,76	0,67	0,73	0,66	0,73	0,65

Nr.	C20	C22	A1	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A11	A12	A13
Typ	Ho	HGn	CSch	CSch	MBSch	BMSch	BMSch	BMSch	MGn	BMSch	BMSch	ZGn	MGn
SiO ₂	50,6	48,4	54,3	53,3	54,3	57,1	68,2	51,3	75,1	57,7	66,6	55,8	74,7
TiO ₂	0,20	0,65	0,63	0,45	0,52	0,88	0,66	1,6	0,27	0,92	0,78	1,1	0,31
Al ₂ O ₃	8,4	22,4	17,4	17,4	25,1	20,0	17,0	22,3	15,4	18,1	18,4	17,9	14,0
Fe ₂ O ₃	9,2	8,9	17,2	9,2	3,4	7,7	5,5	8,2	2,0	8,7	4,9	8,8	2,4
MnO	0,14	0,09	0,16	0,14	0,03	0,05	0,18	0,13	0,03	0,09	0,04	0,13	0,04
MgO	20,9	4,3	14,4	6,7	4,0	5,1	1,9	4,1	0,98	6,2	2,9	8,5	2,4
CaO	11,7	13,3	8,1	7,2	5,7	4,1	3,7	2,2	0,82	4,3	0,38	2,9	1,0
Na ₂ O	0,20	1,0	0,68	3,2	4,6	1,5	0,88	1,0	4,0	0,30	1,2	1,4	4,0
K ₂ O	0,24	0,23	0,28	0,26	1,9	2,0	2,6	6,3	2,3	2,8	4,5	2,7	2,1
SUM	101,58	99,27	99,65	97,85	99,55	98,43	10,62	97,13	100,9	99,11	99,70	99,23	100,95
GV	1,1	2,2	4,8	2,0	1,5	1,9	2,8	3,4	1,5	2,0	2,8	1,9	1,4
ppm													
Rb.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	217	83	80	185	95	66	161	73	92
Sr	n.b.	529	n.b.	304	452	195	44	33	24	145	36	172	46
Zr	n.b.	34	n.b.	n.b.	221	186	188	205	185	175	226	166	185
Cr	1250	168	130	140	162	36	70	132	26	156	86	148	64
Ni	26	38	52	62	52	12	44	26	6	76	44	36	76
Cu	2	96	107	6	10	1	3	3	4	3	16	4	8
Zn	20	20	87	50	30	30	36	66	42	36	26	38	29
Niggli													
si	90,5	115	75,3	139	154	176	176	156	410	173	285	154	374
al	8,9	31,6	18,9	26,8	42,1	36,4	43,0	40,0	49,6	32,1	46,5	29,2	41,3
fm	68,3	31,6	63,6	44,5	24,3	41,5	40,7	37,7	16,4	47,8	34,5	53,7	27,1
c	22,4	34,1	16,0	20,2	17,4	13,6	7,7	7,2	4,3	13,9	1,8	8,6	5,4
alk	0,41	2,7	1,5	8,5	16,2	8,4	8,6	15,2	29,2	6,3	17,3	8,5	26,1
k	0,66	0,13	0,21	0,05	0,21	0,47	0,63	0,81	0,27	0,86	0,71	0,56	0,26
mg	0,82	0,49	0,62	0,59	0,71	0,57	0,49	0,49	0,58	0,54	0,65	0,65	0,65

Nr.	A14	A15	A16a	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A26
Typ	BMSch	HGn	HGn	HGn	BMSch	ZGn	HGn	MBSch	ZGn	ZGn	ZGn	Ho	ZGn
SiO ₂	59,2	58,7	66,1	65,6	58,0	53,0	53,0	63,1	75,9	74,4	74,2	49,3	73,3
TiO ₂	0,70	1,2	0,68	0,67	0,67	0,32	1,6	0,77	0,32	0,34	0,35	0,76	0,35
Al ₂ O ₃	17,4	16,6	17,0	17,9	15,4	16,2	15,4	17,8	15,4	14,8	15,5	8,6	15,3
Fe ₂ O ₃	6,2	8,1	5,8	5,5	6,9	3,1	11,7	6,6	2,1	2,2	2,4	10,7	2,9
MnO	0,08	0,09	0,16	0,03	0,16	0,03	0,15	0,07	0,03	0,03	0,04	0,20	0,07
MgO	5,2	3,3	2,8	2,4	5,6	1,1	7,6	5,0	1,3	1,3	1,6	18,1	2,1
CaO	4,3	6,2	1,7	1,5	7,5	1,5	6,4	2,1	1,1	1,2	1,3	10,3	1,8
Na ₂ O	2,9	2,5	1,2	1,0	2,1	3,6	1,4	2,9	4,0	5,8	3,8	0,2	3,6
K ₂ O	2,9	0,96	2,3	3,5	2,2	2,1	1,6	3,9	1,7	1,3	1,8	0,67	1,8
SUM	98,89	97,66	97,66	98,16	98,53	100,95	98,85	102,24	101,85	101,38	100,99	98,83	101,22
GV	1,3	1,5	2,6	2,9	6,0	1,6	1,4	2,1	1,2	1,1	1,4	4,0	2,1
ppm													
Rb	73	26	58	250	53	47	41	100	62	48	61	26	72
Sr	89	513	333	233	380	242	453	185	170	170	293	324	377
Zr	198	301	358	234	173	298	180	120	182	199	187	212	186
Cr	62	54	38	110	58	58	236	36	24	26	24	800	24
Ni	32	12	16	12	38	18	18	8	8	18	12	1746	18
Cu	1	37	7	9	9	21	2	4	1	2	1	8	1
Zn	33	36	21	18	21	15	26	35	15	14	15	37	42
Niggli													
si	185	192	286	283	169	365	173	206	404	370	378	94,9	349
al	32,0	32,0	43,4	45,6	26,5	47,8	23,5	34,4	48,4	43,4	46,6	9,8	43
fm	39,0	36,3	37,3	33,7	39,9	20,0	52,5	40,9	18,9	18,0	21,6	67,8	25,6
c	14,4	21,7	7,9	6,9	23,5	8,0	17,8	7,4	6,3	6,4	7,1	21,3	9,2
alk	14,6	9,9	11,4	13,8	10,0	24,2	6,2	17,4	26,4	23,1	24,7	1,2	22,1
k	0,40	0,20	0,56	0,70	0,41	0,28	0,43	0,47	0,22	0,13	0,24	0,69	0,25
mg	0,62	0,44	0,48	0,46	0,61	0,41	0,56	0,60	0,55	0,54	0,56	0,77	0,58

Nr.	A27	A28	A29	A30	A31	A32	A33	A34	A35	A36	A37	A39	A40
Typ	ZGn	Ho	ZGn	ZGn	A	ZGn	ZGn	ZGn	A	MBSch	MBSch	MBSch	HGn
SiO ₂	74,1	51,4	71,2	72,5	52,6	71,0	71,4	65,8	56,2	63,0	59,5	65,2	55,8
TiO ₂	0,30	0,68	0,36	0,43	0,63	0,42	0,37	0,52	0,59	1,0	0,83	0,80	0,82
Al ₂ O ₃	12,8	9,0	14,7	14,5	15,5	14,9	14,3	14,3	13,9	17,1	14,9	15,3	14,7
Fe ₂ O ₃	2,1	9,1	2,9	3,0	12,0	2,8	2,9	6,6	9,4	6,9	8,6	6,5	11,0
MnO	0,05	0,27	0,04	0,06	0,18	0,04	0,06	0,16	0,15	0,12	0,18	0,13	0,24
MgO	0,76	17,5	2,4	1,6	6,7	2,6	1,8	4,6	10,1	4,5	8,9	2,6	7,3
CaO	1,3	11,8	1,3	2,0	8,5	1,7	2,2	5,3	6,2	3,3	3,3	2,1	7,1
Na ₂ O	5,1	1,0	4,7	5,0	0,68	3,6	4,7	1,8	1,9	3,9	2,5	3,2	2,1
K ₂ O	1,6	0,24	1,5	1,8	1,6	1,7	3,3	1,2	0,54	1,6	0,63	2,2	0,39
SUM	98,11	100,99	99,10	100,89	98,76	101,03	100,28	98,98	101,22	101,22	99,34	98,03	99,35
GV	1,3	7,3	1,2	1,1	3,2	1,2	1,9	2,4	2,1	2,2	3,1	3,1	1,6
ppm													
Rb	36	n.b.	28	49	32	52	70	46	25	65	31	85	n.b.
Sr	295	290	224	372	474	151	204	195	451	387	231	66	178
Zr	175	n.b.	187	199	17	187	179	169	121	240	180	205	180
Cr	24	724	63	66	110	26	36	46	328	118	434	116	260
Ni	18	935	20	26	18	6	21	38	134	66	166	96	318
Cu	1	2	3	1	3	n.b.	3	4	n.b.	20	1	6	3
Zn	42	57	17	12	30	17	18	26	33	39	27	48	82
Niggli													
si	98,4	333	339	134	419	335	319	230	143	208	169	264	174
al	42,7	10,2	40,6	40,0	23,4	41,4	37,7	29,5	20,9	33,4	25,1	36,6	22,9
fm	15,6	63,5	27,1	21,9	49,0	28,4	22,0	41,8	56,7	39,7	56,8	36,0	50,9
c	7,9	24,2	6,5	10,0	23,3	8,6	10,5	19,9	16,9	11,0	10,1	9,1	20,1
alk	33,8	2,2	25,8	28,0	4,3	21,6	29,8	8,8	5,6	15,9	8,1	18,3	6,1
k	0,17	0,14	0,17	0,19	0,61	0,24	0,32	0,36	0,16	0,21	0,14	0,31	0,11
mg	0,41	0,79	0,62	0,51	0,52	0,64	0,55	0,57	0,68	0,56	0,67	0,44	0,56

Nr.	A41	A42	A43	A43a	A44	A45	A46	A47	A48	A49	A50	A52	A52a
Typ	HGn	A	HGn	ZGn	BMSch	MBSch	HSch	MBSch	A	MBSch	ZGn	S	HGn
SiO ₂	60,8	57,0	62,1	80,6	60,5	64,0	55,9	66,9	49,5	62,4	62,7	45,5	52,6
TiO ₂	1,1	0,51	0,79	0,30	0,97	0,97	0,52	0,78	0,85	0,95	0,92	0,05	0,53
Al ₂ O ₃	17,2	14,0	17,1	11,7	18,0	17,4	13,6	16,3	14,2	17,4	15,8	1,8	15,3
Fe ₂ O ₃	7,2	8,9	7,6	2,0	7,6	6,9	7,9	4,6	13,3	6,8	7,6	10,8	7,1
MnO	0,03	0,16	0,11	0,11	0,16	0,16	0,13	0,05	0,18	0,17	0,08	0,12	0,23
MgO	3,3	9,1	3,9	1,2	3,9	4,4	11,6	2,8	11,3	4,1	5,3	42,8	8,8
CaO	4,3	7,5	6,8	1,4	2,0	1,5	7,7	2,0	7,6	2,3	2,3	9,3	11,9
Na ₂ O	4,8	1,1	0,23	2,7	1,9	1,9	0,68	3,6	0,3	2,5	2,1	0,08	1,0
K ₂ O	1,1	0,34	1,3	1,7	2,4	2,4	1,9	2,2	1,8	2,2	2,3	0,10	0,25
SUM	99,83	98,61	99,93	101,71	97,43	99,63	99,93	99,23	99,03	98,82	99,00	101,57	97,38
GV	2,5	2,6	5,9	1,4	2,1	2,2	6,4	2,3	1,3	1,3	1,2	11,9	2,1
ppm													
Rb	48	n.b.	39	47	76	85	57	81	52	57	85	n.b.	n.b.
Sr	378	364	478	61	147	252	344	298	142	404	208	n.b.	660
Zr	209	90	179	173	213	200	99	275	11	248	182	n.b.	140
Cr	44	420	716	72	104	96	460	66	654	160	170	2100	220
Ni	32	130	200	20	34	60	164	38	80	56	104	3300	36
Cu	8	2	10	12	22	2	n.b.	8	1	7	15	n.b.	9
Zn	52	21	108	18	40	53	24	36	57	28	74	27	24
Niggli													
si	199	150	206	520	217	235	134	175	110	223	216	61,9	126,4
al	33,3	21,7	33,6	44,5	38,2	37,8	19,3	39,5	18,6	36,7	32,2	1,4	21,7
fm	34,0	53,7	38,7	21,9	41,9	43,8	56,3	31,6	60,1	40,7	47,3	97,9	44,9
c	15,1	21,2	24,2	9,7	7,7	5,9	19,9	8,8	18,1	8,8	8,5	0,47	30,7
alk	17,6	3,4	3,5	23,9	12,1	12,4	4,5	20,1	3,2	13,7	11,9	0,19	2,7
k	0,13	0,17	0,79	0,29	0,45	0,45	0,65	0,29	0,80	0,37	0,41	0,45	0,14
mg	0,47	0,67	0,50	0,53	0,50	0,55	0,74	0,54	0,62	0,54	0,58	0,89	0,70

Nr.	A53	A54	A55	A56	A57a	A57	A60	A61	A62	A63	A64	A65	A66
Typ	ZGn	HGn	ZGn	HGn	ZGn	MBSch	ZGn	GSch	GSch	BSch	GSch	GSch	GSch
SiO ₂	75,3	53,7	69,5	76,4	72,9	56,4	63,8	68,3	61,4	48,1	65,1	60,6	70,3
TiO ₂	0,37	0,43	0,42	0,20	0,64	0,96	0,93	0,79	0,87	0,82	0,79	0,74	0,68
Al ₂ O ₃	13,3	14,1	15,4	13,4	15,5	19,3	15,2	15,3	15,2	9,5	16,5	17,0	14,9
Fe ₂ O ₃	4,6	12,6	7,3	3,5	3,6	8,7	8,5	6,0	5,7	7,8	7,6	9,0	4,8
MnO	0,12	0,24	0,17	0,08	0,13	0,18	0,07	0,05	0,08	0,27	0,10	0,07	0,04
MgO	0,81	7,5	1,5	1,3	1,8	4,6	6,6	2,8	5,0	15,9	3,4	4,3	3,1
CaO	1,7	7,9	1,8	3,0	2,4	1,4	3,1	2,0	4,7	13,9	2,5	1,7	2,5
Na ₂ O	3,6	1,9	4,7	2,8	2,2	2,9	1,0	2,5	1,8	0,30	2,1	1,4	1,1
K ₂ O	0,91	0,53	0,56	0,61	1,4	3,2	1,3	2,7	3,1	3,3	3,0	2,8	3,1
SUM	100,71	98,89	101,35	101,29	100,57	97,64	100,50	100,44	97,85	99,98	100,39	97,61	100,52
GV	1,0	2,3	0,7	1,1	1,4	2,2	2,3	2,3	2,6	14,6	2,1	2,9	2,1

Niggli

si	407	143	292	405	360	180	210	284	207	91,3	245	214	304
al	20,9	38,2	41,9	45,1	36,4	29,5	37,5	37,5	30,3	10,6	36,6	35,5	38,0
fm	25,8	52,4	33,1	24,6	27,2	43,3	53,6	36,3	40,0	56,5	40,9	46,9	35,8
c	9,8	21,3	8,1	17,0	12,7	4,8	10,9	8,9	17,1	28,3	10,1	11,6	11,6
alk	22,0	5,5	20,6	16,5	15,0	15,5	5,9	17,2	12,6	4,5	12,3	11,1	14,6
k	0,14	0,16	0,07	0,13	0,30	0,40	0,46	0,42	0,53	0,88	0,59	0,57	0,40
mg	0,25	0,54	0,28	0,42	0,49	0,50	0,60	0,48	0,63	0,80	0,47	0,48	0,46

ppm ä

Rb	48	n.b.	33	n.b.	99	56	54	121	133	110	108	59	112
Sr	112	160	77	418	228	362	349	245	499	223	192	398	106
Zr	122	31	123	200	199	181	163	179	263	127	146	140	204
Cr	450	38	74	256	186	154	120	126	228	1214	196	212	176
Ni	26	104	12	28	194	22	72	34	136	1210	54	48	68
Cu	16	5	35	6	20	9	33	1	11	7	31	27	7
Zn	26	47	30	33	99	99	39	71	71	78	51	44	42

Nr.	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F9	F10	F11	F12	F13	F14
Typ	GSch	GSch	GSch	BSch	BSch	GSch	GSch	GSch	GSch	GSch	GSch	GSch	GSch
SiO ₂	64,4	78,3	66,6	57,1	55,4	74,7	62,5	76,9	76,8	70,9	76,3	77,0	70,1
TiO ₂	0,77	0,46	0,76	0,72	1,1	0,23	0,83	0,53	0,48	0,75	0,57	0,31	0,40
Al ₂ O ₃	19,0	12,5	17,1	11,6	11,5	14,4	16,4	12,3	11,5	15,1	12,4	13,5	15,8
Fe ₂ O ₃	6,9	2,5	5,8	7,2	9,1	1,9	6,2	3,1	3,5	4,3	3,1	2,4	3,8
MnO	0,11	0,05	0,07	0,13	0,12	0,03	0,10	0,07	0,08	0,04	0,02	0,03	0,04
MgO	2,5	1,2	2,6	12,3	12,7	0,97	2,4	1,1	1,6	1,9	1,8	0,97	1,7
CaO	2,0	1,7	2,4	5,3	4,5	0,82	1,8	1,7	1,8	1,7	1,1	1,2	0,91
Na ₂ O	1,1	1,8	1,7	0,50	0,42	3,8	2,5	1,8	3,6	2,5	2,4	3,2	3,6
K ₂ O	3,8	1,8	3,5	2,9	3,6	2,3	3,3	1,9	0,65	2,5	2,0	1,8	3,3
SUM	100,58	100,31	100,53	97,75	98,44	99,15	97,03	99,40	100,01	99,69	99,69	100,41	99,15
GV	2,1	2,0	2,7	5,7	2,4	1,2	1,9	1,1	0,8	2,1	1,5	0,7	1,5
ppm													
Rb	113	74	119	103	144	81	109	77	36	99	74	325	112
Sr	141	172	77	380	n.b.	296	290	303	453	318	301	241	193
Zr	177	203	187	200	222	260	183	201	214	209	257	200	158
Cr	108	152	156	484	1012	50	182	96	112	128	66	52	86
Ni	26	22	56	634	634	22	36	32	50	40	20	10	30
Cu	22	5	23	1	1	2	17	4	9	25	11	4	15
Zn	37	54	33	65	54	74	25	43	27	28	40	34	22
Niggli													
si	249	495	268	147	137	428	259	466	434	340	445	459	333
al	43,3	46,6	40,6	17,7	16,9	48,7	39,5	45,8	38,3	42,7	42,7	47,4	42,9
fm	34,9	23,5	33,4	61,6	64,4	16,6	34,0	24,5	28,7	29,3	24,5	19,5	25,8
c	8,3	11,5	10,4	14,7	12,0	5,0	7,9	11,7	10,9	8,7	6,9	7,7	4,6
alk	13,5	18,3	15,6	6,0	6,7	29,6	18,5	18,0	22,1	19,3	21,0	25,3	26,6
k	0,69	0,40	0,58	0,79	0,85	0,28	0,46	0,41	0,11	0,40	0,35	0,27	0,38
mg	0,51	0,48	0,47	0,77	0,73	0,50	0,43	0,41	0,47	0,46	0,53	0,44	0,47

Nr.	F15	F16	F17	F18	F19	F20	F21	F22	F23	F24	F25	F26	F27
Typ	HSch	GSch	GSch	GSch	GSch	GSch	GSch	GSch	GSch	GSch	GSch	GSch	GSch
SiO ₂	55,2	67,2	52,5	76,0	72,4	76,3	69,4	62,1	56,5	64,6	67,4	58,8	66,7
TiO ₂	0,82	0,69	1,3	0,50	0,73	0,32	0,44	1,1	0,50	0,63	0,49	1,1	0,48
Al ₂ O ₃	14,3	18,1	11,3	12,3	14,7	13,2	17,7	16,8	13,9	15,9	16,1	14,1	16,0
Fe ₂ O ₃	8,1	5,8	8,6	2,1	4,9	2,9	4,0	4,9	4,3	5,5	3,2	5,1	4,8
MnO	0,10	0,07	0,10	0,04	0,06	0,05	0,06	0,07	0,13	0,11	0,05	0,10	0,08
MgO	10,1	2,8	10,8	1,3	2,2	1,0	1,6	4,0	2,0	2,2	2,0	6,3	2,3
CaO	5,9	1,5	6,9	2,2	2,2	1,1	1,3	3,9	15,8	1,2	2,1	5,8	1,7
Na ₂ O	1,0	1,8	0,82	3,8	1,1	3,6	3,4	1,7	0,68	3,2	3,6	0,90	3,6
K ₂ O	2,7	3,5	4,9	0,80	2,7	1,9	2,0	5,0	4,6	4,7	3,2	5,6	4,5
SUM	98,22	101,46	97,72	98,84	100,99	100,57	99,9	99,57	98,81	98,04	98,14	98,10	100,16
GV	2,0	2,1	4,9	0,9	1,4	1,3	3,2	3,2	12,2	1,5	0,6	5,1	1,6
ppm													
Rb	104	120	186	45	112	84	103	209	124	136	124	228	170
Sr	326	224	35	415	154	170	447	307	412	388	454	n.b.	410
Zr	177	249	219	300	223	267	280	284	169	203	273	265	218
Cr	804	112	784	82	94	52	172	136	142	142	80	200	116
Ni	130	28	232	24	34	22	58	58	22	22	28	94	42
Cu	4	20	1	1	12	8	4	21	28	28	2	4	20
Zn	36	72	47	62	10	27	28	36	27	27	28	37	34
Niggli													
si	142	270	128	442	347	439	317	216	158	266	285	181	269
al	21,8	42,9	17,0	42,2	41,6	44,7	47,8	34,6	23,0	38,6	41,6	26,1	38,1
fm	54,9	34,6	55,3	20,7	33,7	21,4	24,9	33,9	19,4	30,9	24,3	41,0	28,7
c	16,3	6,5	18,1	13,7	11,3	6,8	6,4	14,6	47,5	5,3	9,9	19,1	7,4
alk	7,0	16,0	9,6	23,3	13,4	27,1	20,9	16,9	10,1	25,1	24,2	13,7	25,7
k	0,64	0,56	0,80	0,13	0,26	0,62	0,28	0,66	0,82	0,49	0,37	0,80	0,45
mg	0,71	0,49	0,71	0,55	0,47	0,40	0,44	0,61	0,52	0,44	0,56	0,71	0,48

Nr.	F28	F28a	F29	F31a	F31b	F32	F33	F33a	F34	F35	F36	F37	F38
Typ	GSch	GSch	BGn	HSch	GSch	HSch	GSch	BSch	GSch	GSch	EGn	EGn	EGn
SiO ₂	68,3	68,7	60,2	64,7	74,5	57,5	59,8	63,8	63,8	65,7	60,1	52,5	59,3
TiO ₂	0,48	0,65	1,3	0,83	0,63	0,77	1,3	0,99	0,81	0,53	0,78	0,76	1,1
Al ₂ O ₃	16,3	15,5	16,2	16,5	13,0	16,5	16,6	19,3	19,2	18,7	15,4	15,1	16,1
Fe ₂ O ₃	4,6	3,5	5,8	6,8	3,7	7,9	7,0	7,4	7,1	3,6	5,5	7,2	7,6
MnO	0,09	0,14	0,08	0,19	0,06	0,13	0,05	0,13	0,15	0,57	0,09	0,15	0,11
MgO	2,2	0,89	4,5	2,9	1,4	7,4	7,5	3,9	3,1	1,3	4,3	6,1	4,8
CaO	1,4	3,4	5,0	2,4	3,1	4,7	4,1	1,9	0,22	3,4	9,6	12,3	5,0
Na ₂ O	2,1	4,5	3,0	2,5	2,5	0,30	0,88	1,0	0,68	3,7	3,1	3,3	2,6
K ₂ O	4,2	1,3	3,7	1,4	2,7q	2,2	4,1	4,3	3,5	1,3	0,93	2,6	3,1
SUM	99,67	98,57	99,78	98,22	101,59	97,50	99,03	98,72	98,56	98,80	99,80	100,01	99,71
GV	3,3	1,0	2,2	1,9	0,92	2,6	2,2	2,0	2,2	1,4	1,3	4,9	1,1
ppm													
Rb	162	65	115	93	38	92	162	140	132	58	n.b.	51	72
Sr	45	426	1392	371	403	396	381	167	39	420	2035	815	623
Zr	139	255	321	232	204	136	262	175	162	254	263	344	248
Cr	118	100	162	300	110	294	272	156	162	68	116	184	122
Ni	38	22	70	54	30	136	132	46	64	22	36	34	21
Cu	8	16	5	12	8	1	2	17	1	1	38	38	11
Zn	43	19	28	40	22	32	35	40	47	18	22	31	27
Niggli													
si	301	311	192	256	371	151	168	209	260	217	178	126	183
al	42,4	41,4	30,5	38,6	38,2	26,9	28,7	39,8	46,1	45,5	27,0	21,4	29,4
fm	30,1	18,5	35,6	38,1	24,5	46,6	48,3	40,1	41,1	21,2	31,6	35,2	40,1
c	6,6	16,5	17,1	10,2	16,6	21,9	12,9	7,1	0,96	15,1	30,6	31,7	16,6
alk	20,8	23,5	16,8	13,1	20,7	4,7	10,2	13,0	11,8	18,2	10,7	11,7	13,9
k	0,57	0,16	0,45	0,27	0,42	0,83	0,75	0,74	0,77	0,19	0,16	0,34	0,44
mg	0,48	0,33	0,60	0,45	0,42	0,65	0,68	0,51	0,46	0,38	0,60	0,62	0,55

Nr.	F39	F40	F41	F42a	F42b	F45	F47	F48	F49	F61	F64
Typ	EGn	EGn	EGn	A	GSch	A	A	A	A	A	EGn
SiO ₂	63,5	55,4	64,7	49,0	56,4	48,5	51,6	57,3	51,8	54,2	59,5
TiO ₂	0,76	0,87	0,70	0,76	0,85	1,7	1,4	1,4	1,4	1,1	0,91
Al ₂ O ₃	15,8	16,2	16,4	15,9	13,7	12,7	12,8	16,3	13,4	18,5	15,2
Fe ₂ O ₃	5,5	8,9	5,3	9,8	9,5	12,7	11,6	9,5	10,3	13,7	6,9
MnO	0,10	0,11	0,13	0,21	0,14	0,16	0,17	0,16	0,21	0,20	0,09
MgO	3,5	6,9	3,7	7,5	7,9	8,9	9,2	3,4	10,5	1,2	4,5
CaO	4,8	8,9	5,0	14,1	5,9	10,5	11,9	7,1	8,3	9,1	6,8
Na ₂ O	2,5	1,0	0,71	0,44	1,1	1,8	0,68	3,2	1,6	1,3	2,5
K ₂ O	2,8	1,6	3,1	0,23	2,1	0,37	0,48	1,4	0,32	0,70	2,2
SUM	99,26	99,88	99,74	97,94	97,59	97,33	99,83	99,76	97,83	100,00	98,6
GV	0,85	1,1	1,5	1,1	1,4	1,2	4,1	0,91	1,1	0,6	0,8
ppm											
Rb	76	33	57	n.b.	64	n.b.	n.b.	50	n.b.	28	53
Sr	1268	795	800	281	10	175	93	431	n.b.	127	874
Zr	308	195	258	20	84	58	70	205	n.b.	n.b.	222
Cr	106	170	134	654	264	400	362	138	516	196	166
Ni	14	34	30	104	48	76	96	34	158	22	16
Cu	15	24	11	10	56	49	1	16	15	6	79
Zn	26	23	24	33	34	45	39	43	150	96	29
Niggli											
si	225	145	237	111	157	111	116	170	123	156	185
al	33,1	25,0	35,4	21,4	22,5	17,1	18,3	28,6	18,7	31,5	28,0
fm	33,6	44,7	35,2	42,8	35,1	52,6	50,8	36,8	56,0	35,4	37,4
c	18,3	25,0	19,6	34,5	17,6	25,8	28,7	22,7	21,1	28,2	22,2
alk	15,0	5,2	9,8	1,3	6,7	4,5	2,2	11,9	4,2	4,9	11,9
k	0,42	0,51	0,74	0,26	0,56	0,12	0,32	0,22	0,12	0,26	0,37
mg	0,55	0,60	0,75	0,60	0,62	0,58	0,61	0,41	0,66	0,15	0,56

L e b e n s l a u f

Name: Michael Reissinger
Geburtstag: 18.6.1942
Geburtsort: Frankfurt/Main
Eltern: Dekan Dr. Walter Reissinger und Margot, geb. Frey

Schule: 1948 - 1954 Volksschule in Gelnhausen,
Tröstau (Obfr.), München und Peißenberg (Obb.)
1954 - 1963 Humanistisches Gymnasium in
Weilheim (Obb.)

Studium: 1964 - 1971 an der Ludwig Maximilian Univer-
sität München
März 1967 Diplomgeologen-Vorprüfung
Juli 1971 Diplomgeologen-Hauptprüfung
Nov. 1971 Beginn mit der Dissertation

Beruf: November 1971 - Mai 1974 Wiss. Mitarbeiter
Seit Juni 1974 Verwalter der Dienstgeschäfte
eines wissenschaftlichen Assistenten an der
Westfälischen Wilhelms Universität in Münster (Westf.)

